



ESTG

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira José Caçador

2017



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

José Mário Pires Caçador

Escola Superior de Tecnologia e Gestão



**INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO**

José Mário Pires Caçador

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Mestrado em
Engenharia Civil e do Ambiente

Trabalho realizado sob a orientação do
Professor Doutor Carlos Oliveira

Trabalho realizado sob a coorientação do
Doutor José A.F.O. Correia
Engenheira Patrícia Raposo

Novembro de 2017

MEMBROS DO JÚRI

Presidente

Professor Doutor Pedro da Silva Delgado, Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG)

Arguente

Professor Doutor José Manuel Cardoso Xavier, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD)

Orientador

Professor Doutor Carlos Rafael da Silva Oliveira, Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTG)

Coorientador

Doutor José A.F.O. Correia

Engenheira Patrícia Raposo

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor Dr. Carlos Oliveira, o meu agradecimento pelo seu apoio, conselhos partilhados, permanente disponibilidade e pelo acompanhamento ao longo de todo este processo.

Ao meu coorientador, Dr. José A.F.O. Correia, pelo auxílio, críticas, opiniões e conselhos durante a realização dos ensaios.

À Eng.^a Patrícia Raposo, pela disponibilidade, paciência e auxílio, especialmente durante a realização dos ensaios.

Às equipas dos Laboratórios de Engenharia Civil e de Engenharia Mecânica, ambos da Escola de Ciências e do Laboratório de Ciências Florestais da Escola Ciências da Vida, pela disponibilidade para a realização de ensaios assim como pelos conhecimentos partilhados e disponibilidade constante.

Ao Eng.^o João Silva e Eng.^o Francisco Dantas, pela disponibilidade e auxílio nas várias fases deste projeto.

À Eng.^a Sofia Amaral, da biblioteca Barbosa Romero, pela amizade, opiniões, e pela boa disposição que demonstra.

À minha família, em especial aos meus pais e irmão pelo apoio e paciência que tiveram ao longo da execução desta dissertação.

Resumo

Esta dissertação pretendeu estudar formas de Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira em construções antigas, descrevendo os danos mais comuns, as suas origens e formas de deteção. Começando por referir as vantagens da reabilitação, evidenciando a valorização do edificado com a recuperação dos mesmos. Apresentando uma breve perspetiva histórica das construções em madeira em Portugal, passando pela caracterização os vários elementos estruturais constituintes dos pavimentos e as suas funções.

Foi ainda realizado um breve estudo sobre a madeira como material de construção, atendendo à sua origem e composição, com o objetivo de demonstrar as suas capacidades e limitações no desempenho de funções estruturais. De seguida foram identificadas as fases de inspeção e diagnóstico, assim como alguns ensaios destrutivos e não destrutivos, que auxiliam na determinação do estado de conservação e capacidade resistente de elementos de madeira.

Nesta dissertação foi ainda descrita a inspeção e diagnóstico dos pavimentos de madeira de uma habitação a ser reabilitada na cidade do Porto. De forma a determinar o estado de conservação dos elementos estruturais dos pavimentos foram realizados ensaios não destrutivos, com recurso a um Resistograph. De modo a determinar as suas características mecânicas, foram realizados ensaios destrutivos em provetes isentos de defeitos e de tamanho real.

Este estudo pretendeu definir métodos de avaliação e diagnóstico de pavimentos de madeira, recorrendo a ferramentas e equipamentos que permitem quantificar as suas capacidades, de forma simples e pouco intrusivas, com o objetivo de auxiliar à decisão de intervenção.

Palavras-Chave:

Pavimentos de madeira em edifícios antigos;

Conservação e reabilitação de edifícios antigos;

Património histórico;

Madeira material de construção;

Inspeção e diagnóstico;

Ensaio destrutivo e não destrutivo.

Abstract

This dissertation meant to study forms of Inspection and Diagnosis of Wood Pavements in old buildings, describing the most common damages, their origins and forms of detection. Mentioning the advantages of rehabilitation, evidencing the valorization of the building with the recovery of the same. Presenting a brief historical perspective of wooden constructions in Portugal, passing through the characterization the various structural elements constituent of the floors and their functions.

A brief study on wood as a construction material was carried out, stating its origin and composition, to demonstrate its capabilities and limitations in the performance of structural functions. Next, the inspection and diagnostic phases were identified, as well as some destructive and non-destructive tests, which help to determine the state of conservation and the resistant capacity of wood elements.

In this dissertation was described the inspection and diagnosis of wooden floors of a dwelling to be rehabilitated in the city of Porto. To check the state of conservation of the structural elements of the pavements, non - destructive tests were carried out using a Resistograph. To define their mechanical characteristics, destructive tests were carried out on small and real size test pieces.

This study intended to define methods of evaluation and diagnosis of wooden floors, using tools and equipment that allow to quantify their capabilities, in a simple and not intrusive way, with the purpose of assisting the intervention decision.

Key words:

Wooden floors in old buildings;

Conservation and rehabilitation of old buildings;

Historical heritage;

Wood as a building material;

Inspection and diagnosis;

Destructive and non-destructive tests.

Índice Geral

Agradecimentos.....	V
Resumo	VI
Abstract.....	VIII
Índice Geral	X
Índice de Figuras	XIII
Índice de Tabelas	XVI
1.Introdução.....	1
1.1. Considerações Gerais.....	1
1.2. Âmbito e Objetivos	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	3
2. Pavimentos de Madeira	5
2.1. Contextualização Histórica.....	5
2.2. Elementos Construtivos do Pavimentos.....	7
2.2.1. Vigamentos.....	7
2.2.2. Tarugos	9
2.2.3. Cadeias	11
2.2.4. Soalho	12
2.2.5. Caixa de Escadas.....	13
3. Características da Madeira	14
3.1. Estrutura Celular	16
3.1.1. Submicroscópica	16
3.1.2. Microscópica.....	17
3.1.3. Macroscópica.....	20

3.2. Propriedades Físicas.....	23
3.3. Propriedades Mecânicas.....	25
3.4. Defeitos e Degradação da Madeira.....	27
3.4.1. Características do material	27
3.4.2. Ação de agentes bióticos.....	29
3.4.3. Ação de Agentes Atmosféricos.....	32
3.4.4. Danos Provenientes da Má concepção.	33
4. Inspeção e Recolha de Informação	34
4.1. Inspeção Visual.....	34
4.1.1. Classes de Qualidade.....	36
4.1.2. Classes de Resistência	37
4.1.3. Classificação de Madeira Antiga.....	38
4.2. Ensaio Não Destrutivos	39
4.2.1. Resistograph.....	40
4.2.2. Pilodyn	41
4.3. Ensaio Destrutivos.....	42
4.3.1. Ensaio em Provetes Isentos de Defeitos	43
4.3.2. Ensaio em Provetes de Tamanho Real	44
4.3.3. Comparação Provetes Isentos de Defeitos e Provetes de Tamanho Real	45
5. Caso de estudo.....	46
5.1. Caracterização da Obra	46
5.2. Descrição Estrutural.....	50
6. Apresentação e Análise de Resultados	53
6.1. Inspeção Visual.....	53
6.2. Ensaio Não Destrutivos	55

6.2.1. Resistograph.....	55
6.3. Ensaaios Destrutivos.....	62
6.3.1. Ensaaios em Provetes Pequenos Isentos de Defeitos	62
6.3.1.1. Correlação Digital de Imagem (CDI).....	64
6.3.2. Ensaaios de Compressão Axial.....	65
6.3.3. Ensaaios de Tração Axial	69
6.3.4. Ensaaios em Elementos de Vigas de Pinus Pinaster	73
6.4. Discussão de Resultados.....	78
7. Conclusão.....	80
7.1. Principais Resultados Obtidos	80
7.2. Propostas de Desenvolvimentos Futuros.....	82
8. Referências Bibliográficas	83
Anexo 1: Resultado dos ensaios de compressão axial para os provetes C2 a C10	1
Anexo 2: Resultado dos ensaios de compressão axial para os provetes T3 a T6	8
Anexo 3: Ficha de inspeção de elementos de madeira.	11

Índice de Figuras

Figura 1 - Entrega de vigas (Foto Caçador, 2017)	8
Figura 2- Sistema de tarugamento simples (Segurado, 1942)	9
Figura 3- Sistema de tarugamento cruzado (Costa, 1955).....	10
Figura 4- Sistema de tarugamento entalonado (Costa, 1955).....	11
Figura 5 - Esquema de cadeias (Segurado, 1942).....	12
Figura 6 - Soalho de madeira casa das Antas (Foto Caçador, 2017).....	12
Figura 7 - Patamar de piso casa das Antas (Foto Caçador, 2017).....	13
Figura 8 - Diferença botânica entre árvores (Terminologia de Madeiras, 1955)...	14
Figura 9 - Diferentes concepções da parede secundária de uma fibra ou traqueido; Direções das fibrilas	16
Figura 10 - Estrutura heteroxilada de folhosa (Homogénea). (Carvalho, 1996) ...	18
Figura 11 - Estrutura homoxilada de resinosas (Heterogenea). (Carvalho, 1996)	19
Figura 12 - Secção transversal de um tronco de árvore (H.H.&M, 2005)	21
Figura 13 - Defeitos naturais e de conversão (Porteous, 2007)	28
Figura 14 – Defeitos provocados por tratamento incorreto (Porteous, 2007)	29
Figura 15 – Madeira atacada por fungos (Cruz, 2001)	30
Figura 16 - Danos provocados por caruncho	31
Figura 17 - Danos provocados por térmitas	31
Figura 18 - Atribuição de classes de resistência a madeiras em serviço. (Freitas, 2012)	39
Figura 19 - Resistograph. (Foto Caçador, 2017)	40
Figura 20 - Esquema de funcionamento Pilodyn (Proceq, 2003)	41
Figura 21 - Plantas levantamento arquitetónico cave, rés-do-chão, primeiro piso	47
Figura 22 - Vista satélite edifício de estudo (Google maps, 2017)	48
Figura 23 - Planta piso de garagem (C. Oliveira, 2017).	49
Figura 24 - Corte AA' ligação habitação existente ao novo anexo (C. Oliveira, 2017).	49
Figura 25 - Planta projeto prévio cave, rés-do-chão e piso um (C. Oliveira, 2017).	50
Figura 26 - Localização e dimensões das vigas de pavimento	51
Figura 27 – Colapso parcial da cobertura (Foto Caçador, 2017).....	53

Figura 28 - Patamar piso um (Foto Caçador, 2017)	54
Figura 29 - Pavimento rés-do-chão (Foto Caçador, 2017)	55
Figura 30 - Realização de um ensaio com Resistograph (Foto Caçador, 2017) ..	56
Figura 31 - Mapa de ensaios pavimento piso um.....	57
Figura 32 - Resultados Resistograph viga 6 pavimento piso um.....	58
Figura 33 - Resultados Resistograph viga 10 pavimento piso um.....	58
Figura 34 - Resultados Resistograph viga 15 pavimento piso um.....	59
Figura 35 - Mapa ensaios pavimento rés-do-chão	59
Figura 36 - Resultados Resistograph viga 3 pavimento rés-do-chão	60
Figura 37 - Resultados Resistograph viga 9 pavimento rés-do-chão	61
Figura 38 - Resultados Resistograph viga 15 pavimento rés-do-chão	62
Figura 39 - Provetes para ensaio à compressão axial (Foto Caçador, 2017)	63
Figura 40 - Tintas usadas para criar um padrão speckle (Foto Caçador, 2017) ..	64
Figura 41 - Medição das dimensões do Provete C7 (Foto Caçador, 2017).....	66
Figura 42 - Ensaio de compressão axial (Foto Caçador, 2017)	67
Figura 43 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C1: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade..	68
Figura 44 - Curvas tensão versus extensões resultantes dos ensaios de compressão paralela às fibras.....	69
Figura 45 - Ensaio de tração axial (Foto Caçador, 2017).....	70
Figura 46 - Provetes ensaiados à tração axial (Foto Caçador, 2017)	71
Figura 47 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T2: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.	72
Figura 48 - Curvas tensão versus extensões resultantes dos ensaios de tração paralela às fibras.	73
Figura 49 - Ensaio Viga Antas 1 (Foto Caçador, 2017).....	74
Figura 50 - Lixação do Elemento Antas 1 (Foto Caçador, 2017).....	74
Figura 51 - Criação de um padrão speckle (Foto Caçador, 2017).....	75
Figura 52 - Estado de conservação do elemento Antas 1 (Foto Caçador, 2017) .	75
Figura 53 - Dimensões do elemento Antas 1	76
Figura 54 – Gráfico: tensão deslocamento do ensaio da viga Antas 1.....	77

Figura 55 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C2: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.... 1

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classe de Qualidade/ Classe de Resistência para algumas madeiras utilizadas em estruturas (LNEC M1, 1997).....	38
Tabela 2 - Características dos componentes óticos utilizados na CDI.....	65
Tabela 3 - Dimensões dos provetes usados nos ensaios de compressão axial...	67
Tabela 4 - Propriedades mecânicas e elásticas dos provetes testados à Compressão	69
Tabela 5 - Dimensões dos provetes usados nos ensaios de Tração.	71
Tabela 6 - Propriedades mecânicas e elásticas dos provetes testados à tração axial	73
Tabela 7 - Dimensões do elemento Antas 1.....	76
Tabela 8 - Valores das propriedades mecânicas obtidos.....	77
Tabela 9 - Comparação das propriedades mecânicas do Pinho	79

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

1.Introdução

1.1. Considerações Gerais

“As construções degradam-se com o tempo pelo que a conservação e o restauro do património são uma forma de desenvolvimento sustentável. Por outro lado, a sociedade civil atual exige a proteção do património de valor cultural e a sua transferência para as gerações vindouras, pelo que a conservação e restauro do património é também uma forma de cultura.” (ICOMOS, 2004)

Nos tempos correntes procura-se restituir aos edifícios antigos um estado semelhante ao que apresentava aquando da sua construção, dotando-os de condições de segurança e conforto segundo os padrões atuais, tornando-os atraentes e salvaguardando o seu valor histórico (Coias, 2007). Desta forma a reabilitação torna-se uma necessidade, e uma oportunidade de promover a sustentabilidade, tanto a nível económico como a nível ambiental.

O processo de reabilitação deve procurar manter a integridade de todos os elementos que constituem o edifício, no entanto, inúmeras vezes assume-se que os elementos estruturais não possuem capacidade resistente, levando à sua demolição e substituição, quando o seu estudo e diagnóstico revelam que os mesmos mantêm parte das suas capacidades. A análise e diagnóstico das estruturas auxiliam na determinação do nível de intervenção necessário realizar no edifício, tendo em vista a redução de custos e a preservação do edificado sem condicionar a segurança do mesmo.

A intervenção estrutural é vulgarmente dividida em três níveis, reabilitação que consiste na execução de reparações de modo a readquirir as capacidades perdidas. Reforço que consiste na introdução de novos elementos, que em conjunto com a estrutura existente aumentam a capacidade resistente a níveis superiores aos originais. E substituição, podendo ser funcional, na qual os elementos são mantidos com função puramente estética, ou total na qual os elementos são removidos (Icomos, 2004).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

A madeira encontra-se entre os materiais de construção mais utilizados pelo Homem, devido especialmente à sua abundância, características mecânicas e durabilidade, particularmente quando conservada corretamente. Construções em madeira com vários séculos, por todo mundo, mantêm as suas funções e níveis de conservação elevados que são testemunho das capacidades e qualidade da madeira como material de construção.

No entanto, e apesar destas características, ao longo do tempo, e por diversas razões, tem-se verificado um desaparecimento das estruturas de madeira sendo substituídas por elementos constituídos por outros materiais. Este fenómeno surge, em parte, devido à ocorrência de incêndios em cidades, que resultaram na destruição de vários edifícios, à ignorância das qualidades e capacidades da madeira como material de construção e ao aparecimento do betão armado.

Em Portugal, especialmente na cidade do Porto, os edifícios com pavimentos e coberturas em madeira constituem grande parte da zona histórica da cidade. Porém, um elevado número destes edifícios necessita de reabilitação de forma a serem novamente utilizáveis. A reabilitação e conservação destes edifícios permitem a renovação e revitalização dos centros históricos, preservando o património arquitetónico, simultaneamente evitando a degradação e abandono destas zonas.

Porem, a decisão de intervencionar estes edifícios, devido às patologias estruturais da madeira e respetivas soluções, deve passar por uma análise cuidada por técnicos especializados.

1.2. Âmbito e Objetivos

A presente dissertação, com o título “Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira”, focará na análise estrutural de estruturas de madeira, abordando as fases essenciais de inspeção e diagnóstico que permite avaliar de forma expedita o estado de conservação e a capacidade resistente de pavimentos de madeira.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Esta dissertação tem como objetivo demonstrar a viabilidade da preservação e reabilitação dos elementos estruturais dos pavimentos em madeira, definindo metodologias de diagnóstico que permitam avaliar de forma simples a segurança, estado de conservação e capacidade resistente.

De forma a apoiar algumas das conclusões retiradas sobre o estado de conservação dos elementos estruturais dos pavimentos, serão realizados ensaios não destrutivos e ensaios laboratoriais.

1.3. Estrutura da Dissertação

Para além deste capítulo introdutório, no qual se faz uma breve apresentação do trabalho realizado e onde resumidamente se apresenta o seu conteúdo, a dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos.

No Capítulo 2 far-se-á uma pequena contextualização histórica e construtiva dos pavimentos de madeira em Portugal, especialmente na cidade do Porto. Serão ainda caracterizados os elementos que compõem os pavimentos, vigas, tarugos, soalho e pontos singulares como ligações e caixas de escadas.

No Capítulo 3 será exposta a madeira como material de construção e estrutural, referindo a sua origem e composição, as suas capacidades, características e desempenho, assim como as suas limitações, defeitos e tipos de degradação.

No Capítulo 4 serão abordadas as fases de inspeção e diagnóstico, que devem ser seguidas no estudo de estruturas de madeira, procurando formas simples de apoiar a decisão de manutenção, reabilitação ou substituição. Neste capítulo serão, ainda, referidos alguns ensaios não destrutivos e destrutivos existentes, que permitem a determinação do estado de conservação e a capacidade resistente dos elementos de madeira.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

No Capítulo 5 apresentar-se-á o estudo desta dissertação, que envolve a reabilitação de uma habitação localizada na cidade do Porto. Sendo descrito o seu estado original e as modificações que serão realizadas.

No capítulo 6 será descrita a inspeção e diagnóstico da habitação, com especial ênfase nos pavimentos de madeira. Serão ainda descritos os ensaios realizados, de forma a determinar o estado de conservação e a capacidade resistente dos pavimentos, assim como os resultados obtidos.

No Capítulo 7 serão apresentadas as principais conclusões retiradas ao longo desta dissertação e serão realizadas algumas sugestões para futuros estudos e trabalhos experimentais.

2. Pavimentos de Madeira

Os elementos de madeira podem ser aplicados de várias formas, como elementos verticais, conferindo suporte de cargas, ou como elementos horizontais, com função de resistir a esforços de tração e flexão. Até ao final do século XIX, a madeira era o único material que proporcionava um sistema de construção de estruturas fácil (Fitchen, 1986).

De forma a realizar a reabilitação de pavimentos de madeira torna-se conveniente conhecer a sua evolução ao longo dos tempos assim como a caracterização dos seus elementos estruturais, como vigas, tarugos e soalho. Estas informações tornam-se relevantes no estudo dos pavimentos, pois a estrutura destes tende a variar com o local nas quais estão inseridas e a idade da construção.

2.1. Contextualização Histórica

A utilização da madeira em Portugal foi bastante preponderante, antes das Ordenações Manuelinas, sendo a construção realizada sobretudo com recurso a madeira, sendo a alvenaria reservada para as construções do clero e da nobreza (Carita, 1999). No entanto, a partir dos inícios do século XVI, as paredes estruturais passaram a ser realizadas em alvenaria, sendo a madeira maioritariamente utilizada em pavimentos e coberturas, este hábito manteve-se até à popularização do betão armado.

O tipo de madeira utilizada era normalmente escolhido em função do edifício em que seria aplicada e a função que iria desempenhar, estrutural ou ornamental. Madeira nobre, como o castanho e o carvalho, eram utilizadas em palácios, castelos ou interior de igrejas, normalmente complementadas com madeira de pinho ou cipreste em elementos de menor importância.

A escolha do tipo de madeira tinha ainda em consideração a predominância local das espécies. No Norte de Portugal, e especialmente no Porto, as madeiras

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

utilizadas nos elementos estruturais de pavimentos e coberturas eram o castanho, carvalho e por vezes o pinho de riga e nacional (Teixeira, 2004) no restante território nacional a espécie predominante era o pinho (Feio, 2005). Sendo relevante referir que as madeiras utilizadas na zona do Porto eram, maioritariamente provenientes das regiões próximas da cidade e possivelmente do pinhal de Leiria (Teixeira, 2004).

As principais características das madeiras predominantes nas estruturas do Porto são as seguintes (Teixeira, 2004) (Mateus, 1978) (Terminologia de Madeiras, 1955):

- Castanho, *Castanea sativa* Mill, folhosa de madeira dura, leve, com bastante trabalhabilidade, com elevada resistência à humidade, o que levou à sua elevada utilização em coberturas, no entanto suscetível a ataque de caruncho. Proveniente de Trás-os-Montes, Beiras e Algarve;
- Carvalho, *Quercus Robur*, folhosa de madeira dura, com alguma trabalhabilidade, resistente e durável, no entanto apresenta uma massa volúmica elevada. Proveniente de Trás-os-Montes e Douro;
- Pinho Bravo ou Nacional, *Pinus Pinaster*, resinosa de madeira relativamente dura, pesada, com elevada trabalhabilidade, com excelente comportamento em vigamentos e estacaria. Devido à sua abundância, e consequentemente baixo preço, é muito utilizada em Portugal. No entanto é suscetível a ataques bióticos, apresenta bastantes nós e fendilha com facilidade;
- Pinho Manso, *Pinus Pinea*, semelhante ao Pinho Bravo, considerada como das melhores madeiras para vigamentos e soalhos, no entanto apresenta maior número de nós.

2.2. Elementos Construtivos do Pavimentos

Os pavimentos de madeira encontram-se entre as melhores soluções para a execução de estruturas horizontais, tendo sido utilizados ao longo de vários séculos, apresentando vantagens como a facilidade de execução e peso reduzido. São constituídos por vigamento e soalho, e elementos secundários, tarugos e cadeiras. Grande parte dos constituintes dos pavimentos, vigas, tarugos, cadeiras incluem-se nas obras de tosco, trabalhos em que a madeira apenas será serrada, não necessitando de outros aparelhos e cuidados. Estes elementos ficam embebidos na alvenaria e não à vista. O soalho e teto inferior incluem-se nos trabalhos limpos, com acabamento mais cuidado, uma vez que ficaram à vista (Segurado, 1942).

2.2.1. Vigamentos

O vigamento dos pavimentos consiste numa série de vigas dispostas paralelamente e com pequenos intervalos entre si. Inicialmente estes elementos eram simples troncos de madeira, tendo evoluído em vigas esquadriadas de secção retangular. Estes elementos são responsáveis pelo suporte do pavimento e tem a função de transmitir as cargas às paredes de alvenaria.

As extremidades das vigas, conhecidas por entregas apoiam ou são encastradas nas paredes de alvenaria. De forma a aumentar a estabilidade e diminuir vibrações. As entregas das vigas devem ser preenchidas com alvenaria e penetrar as paredes pelo menos 0,20m ou 0,25m (Costa, 1955).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 1 - Entrega de vigas (Foto Caçador, 2017)

De forma geral, os espaçamentos entre vigas variam de 0,40m a 0,70m entre eixos, sendo que a primeira e última viga se encontram, regularmente, encostadas às fachadas. Nos casos em que é necessário suportar tetos inferiores, é comum encontrar um espaçamento entre faces de vigas na ordem dos 0,30m, visto ser uma medida conveniente para pregar o fasquiado (Segurado, 1942). É ainda comum encontrar, em vãos maiores e quando possível, vigas de maiores dimensões colocadas na perpendicular ao vigamento.

De forma a obter um comportamento estrutural superior e mais regular as vigas devem ser, idealmente, retangulares. No entanto em construções ditas ordinárias, por motivos económicos, eram utilizadas vigas com arestas chanfradas. Até ao início do século XX as vigas eram troncos de madeira, conhecidos como paus rolados, normalmente com faces aparadas ou falqueadas, de forma a receberem os revestimentos dos pavimentos (Teixeira, 2004). A utilização de vigas de secção retangular surgiu no início do século XX e tornando-se prática regular um pouco mais tarde.

2.2.2. Tarugos

Devido a longos vãos dos pavimentos a ação das cargas sobre os mesmos promove a instabilidade lateral-torsional das vigas, mais propício em vigas de secção retangular, este fenómeno é vulgarmente conhecido como bambeamento. Este provoca o aumento da flexibilidade do pavimento, vibrações e deformações da estrutura pondo em causa a estabilidade do mesmo.

De forma a evitar este fenómeno foram introduzidos sistemas de tarugamento, que consistem em vigas de menor dimensão colocadas na direção perpendicular às vigas principais e com espaçamento considerável. A utilização de tarugos teve como vantagem secundaria a redução de secções das vigas e maior reforço estrutural reduzindo as flechas dos pavimentos, no entanto a sua colocação implica mais material e requer cuidados especiais de forma a evitar danificar a estrutura (Segurado, 1942). Destacam-se entre os sistemas de tarugamento o simples, em cruzeta e entalonado (Costa,1955).

- Simples, os tarugos têm dimensões similares ao espaçamento entre vigas, são colocados de baixo para cima, criando um impulso que subindo o vigamento favorecendo o nivelamento do pavimento quando sujeito a cargas. A fixação é realizada com pregos em ambas as faces do tarugo para as vigas.

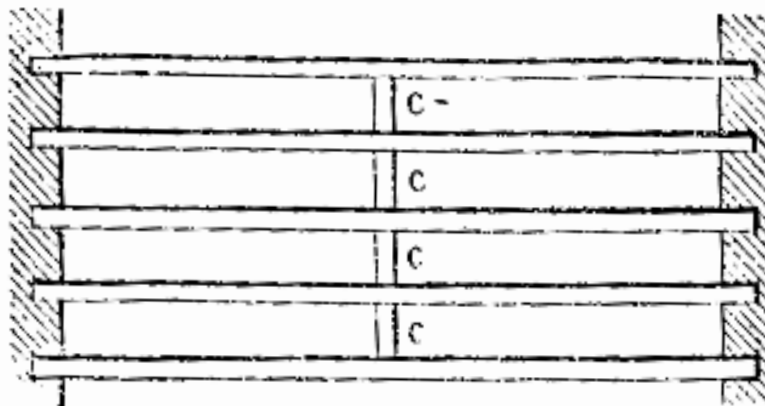


Figura 2- Sistema de tarugamento simples (Segurado, 1942)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

- Cruzeta ou à Americana, os tarugos são compostos por ripas de dimensões reduzidas, são aplicados em reentrâncias executadas nas vigas. As ripas são colocadas na reentrância superior de uma viga e na reentrância inferior da viga oposta, repetindo o processo no sentido contrário, na ripa seguinte, formando uma cruzeta. Este método perde eficiência quando a distância entre vigas é elevada, devido ao ângulo formado pelas ripas se torna pequeno. A fixação das ripas é realizada por um prego em cada extremidade.

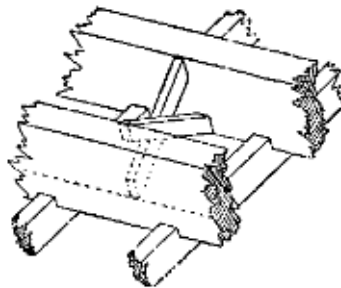


Figura 3- Sistema de tarugamento cruzado (Costa, 1955)

- Entalonado, também utilizado na construção de cadeias, obedece a um método de samblagem complexo, as secções dos tarugos e das vigas têm de ser semelhantes. O comprimento dos tarugos apenas é medido após a execução de entalhes nas faces das vigas. Para a correta realização deste entalhe a face da viga é dividida em três partes iguais, não comprometendo a inferior. O entalhe é aberto na zona central deixando um chanfro de dimensões inferiores na parte superior. Os topos dos tarugos têm orelhas e talões que encaixam nos entalhes das vigas e a sua fixação à viga é realizada com pregos.

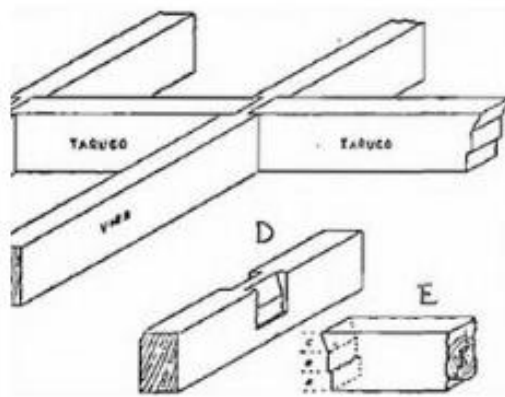


Figura 4- Sistema de tarugamento entalonado (Costa, 1955)

2.2.3. Cadeias

Na planta estrutural de um edifício existem zonas em que não é possível entregar as vigas nos seus apoios, nestes casos a configuração do vigamento é alterada. De forma a evitar o apoio destas vigas sobre o piso inferior, com recurso a pilares, a criação de cadeias permite transmitir as cargas das vigas para outras do mesmo piso.

As cadeias consistem em vigas perpendiculares e encastradas em duas vigas principais, devendo estas possuir secções superiores à do restante vigamento (Segurado, 1942). De forma a obter um travamento eficaz, a cadeia não podia possuir folgas entre as vigas, sendo esta ligação realizada através de entalhes nas vigas, num sistema entalonado (Costa, 1955).

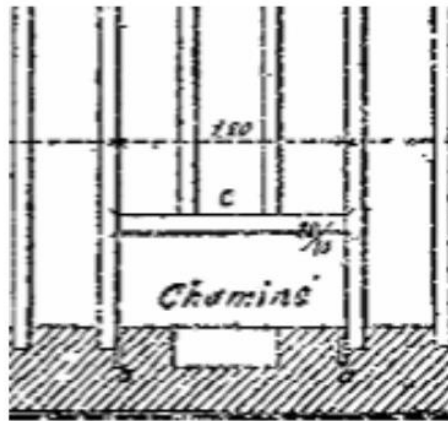


Figura 5 - Esquema de cadeias (Segurado, 1942)

2.2.4. Soalho

O revestimento de pavimentos de madeira é maioritariamente em soalho, com variadas dimensões e inúmeras espécies de madeira, sendo as mais utilizadas em Portugal o pinho nacional, pinho manso e a casquinha (Teixeira, 2004). O soalho varia segundo o tipo de ligação que apresenta: de junta, de chanfro, à portuguesa e de macho e fêmea.



Figura 6 - Soalho de madeira casa das Antas (Foto Caçador, 2017)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Devido a ser o mais económico, o tipo de soalho mais comum em Portugal é o soalho à portuguesa, sendo inicialmente executado em casquinha e posteriormente em pinho nacional (Costa, 1955).

2.2.5. Caixa de Escadas

As escadas de ligação entre pisos de madeira eram, regularmente, compostas por dois ou três lanços, apoiando nas cadeias dos pavimentos e no patamar intermédio, ou nas paredes da caixa de escada. Os elementos estruturais mais importantes das escadas são as suas pernas, fundamentalmente vigas inclinadas, que variam em quantidade com a largura das escadas e normalmente possuíam as mesmas secções das vigas utilizadas nos pavimentos.



Figura 7 - Patamar de piso casa das Antas (Foto Caçador, 2017)

3. Características da Madeira

A madeira é um material natural orgânico de estrutura celular, heterogêneo e anisotrópico, constituído por conjuntos de células de diversos tipos morfológicos. As células da madeira, desempenham funções estruturais, condução de seiva, transformação e armazenamento de nutrientes (Carvalho, 1996).

Botanicamente as árvores madeireiras são divididas em folhosas e resinosas. As árvores folhosas, ou angiospérmas apresentam um crescimento lento e dão origem a madeiras mais densas. Apresentam sementes encerradas em frutos e folhagem larga e achatada com tendência a cair no outono, abrangem cerca de 1500 espécies com madeira útil, o carvalho e castanho são exemplos característicos destas árvores (Branco, 1993). Por sua vez as árvores resinosas, ou gimnospermas, apresentam um crescimento rápido e dão origem a madeiras macias. Não produzem frutos e apresentam sementes em cápsulas cónicas a descoberto, a sua folhagem acicular, em forma de agulha, mantém-se durante todo o ano, estas abrangem cerca de 35% das espécies de árvores conhecidas, são exemplos característicos pinheiros e eucaliptos (Branco, 1993).

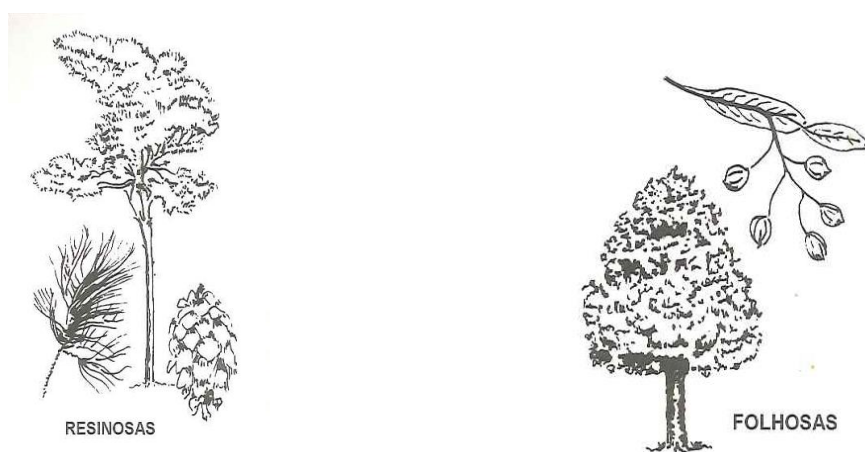


Figura 8 - Diferença botânica entre árvores (Terminologia de Madeiras, 1955)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Outra forma de classificação das madeiras, não relacionado com a sua origem e mais generalizado, relaciona a finalidade e as suas características dominantes, da seguinte forma (Branco, 1993):

- Madeiras finas- utilizadas em marcenaria e execução de obras de elevada qualidade.
- Madeiras rijas- aplicadas em elementos estruturais, como pilares, vigas e asnas.
- Madeiras resinosas- empregues de variadas formas, desde estruturas a cofragens e moveis e elementos de decoração.
- Madeiras brandas- com pouca durabilidade, no entanto com elevada trabalhabilidade, com utilização limitada, na construção, a painéis lamelados.

O metabolismo da árvore acompanha a passagem das estações. Em climas temperados e frios, em que o ciclo das estações é bem definido, as árvores apresentam um crescimento relevante na Primavera, originando células de grande dimensão e com paredes finas. Porém no final do Verão o crescimento abrandar, produzindo células de menor dimensão com paredes grossas. Contrariamente aos climas temperados, as árvores provenientes de climas tropicais, nos quais o ciclo das estações sofre poucas oscilações, apresentam pouca variação na sua estrutura celular. Levando a anéis de crescimento mais pequenos e muito semelhantes, conduzindo a uma acrescida dificuldade na identificação da idade destas (Lopes, 2002).

De forma a compreender as características físicas e mecânicas da madeira é necessário conhecer a sua organização do tecido da estrutura celular. Este está dividido em três subestruturas, submicroscópica, microscópica, macroscópica (Lopes, 2002).

3.1. Estrutura Celular

3.1.1. Submicroscópica

Com o auxílio de microscópios eletrônicos é possível verificar que a madeira é formada por diferentes tipos de células, revestidas por paredes celulares compostas por celulose inserido numa matriz de hemicelulose e lenhina. Estas células são constituídas por três camadas: parede primária, secundária e terciária (Alvarez, 2000)

Entre as células existe a lamela média, LM, composta por lenhina, que atua como ligação entre as membranas que constituem a parede.

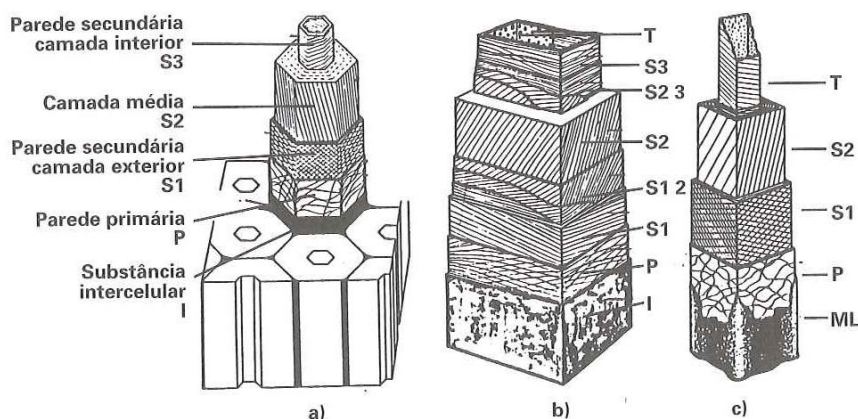


Figura 9 - Diferentes concepções da parede secundária de uma fibra ou traqueide; Direções das fibrilas

a) de WARDROP e BLAND (1959);

b) de HARADA et al. (1958);

c) de FORGACS (1963). (Fonte Carvalho, 1996)

A parede primária apresenta uma celulose organizada, devido às microfibrilas sem orientação. A camada exterior, S1, tem uma espessura compreendida entre 0.1 e 0.2 μm e as suas fibras de celulose tem direção alternada e uma orientação entre 50 a 70°. A parede secundária, S2, apresenta uma

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

espessura um pouco maior e é composta por subcamadas, entre 100 a 200, estas estão orientadas numa inclinação menor, 5 a 20°, comparada com a camada exterior. A camada interna, S3, tem uma espessura menor que S2, mas superior a S1 e as suas fibras estão dispostas aleatoriamente.

A análise da parede celular revela a razão pela qual a variação do teor de água na madeira são mais significativos na direção transversal quando comparados com a longitudinal. Quando o teor de água aumenta a lamela média empola originando uma variação de secção mais significativa que a apresentada pelo crescimento das paredes (Alvarez, 2000).

3.1.2. Microscópica

A madeira é formada por um conjunto de células que na árvore, desempenhavam funções de sustentação e fisiológicas (Branco, 1993). As dimensões, forma e agrupamento variam com a localização no lenho e espécie da árvore da qual é proveniente. Devido à sua constituição, a madeira apresenta um comportamento heterogêneo e anisotrópico, originando diferentes desempenhos de peças, dependendo da espécie ou localização (Uriartt, 1997).

A estrutura lenhosa das árvores diverge, de forma notória, entre os grupos botânicos, folhosas e resinosas. No entanto a estrutura das árvores pertencentes ao mesmo grupo são muito semelhantes, sendo possível generalizar a sua composição.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

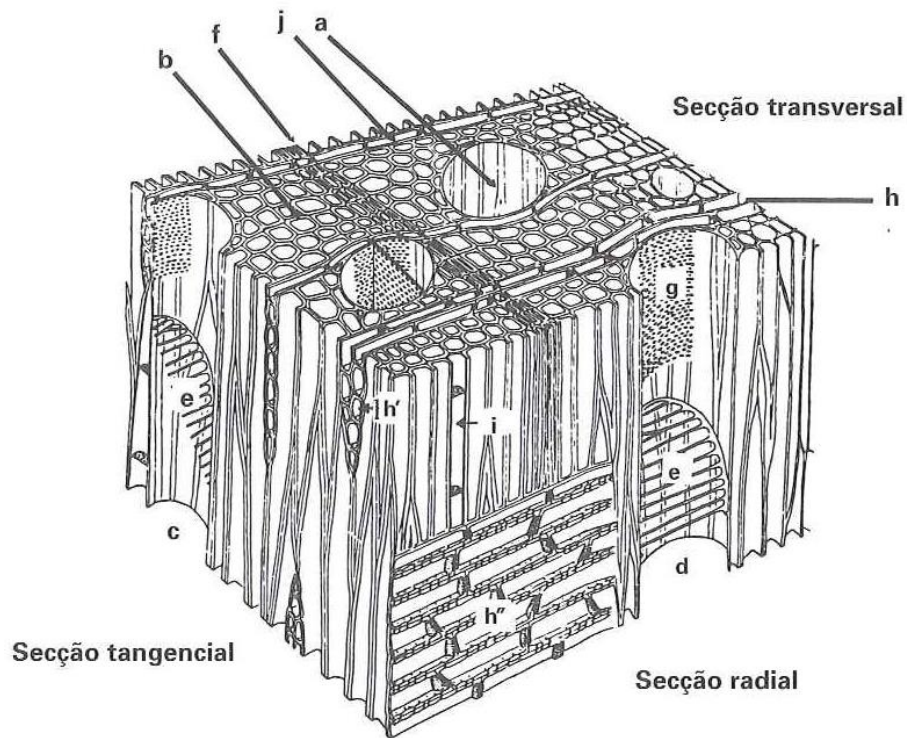


Figura 10 - Estrutura heteroxilada de folhosa (Homogénea). (Carvalho, 1996)

Legenda: a) Vaso (secção transversal = poro); b) Fibra; c) Segmento vascular (secção tangencial); e) Perfuração escalariforme; f) Limite de camadas de crescimento; g) Pontuações radio-vasculares; h) Raio lenhoso bisseriado (secção transversal); h') Raio lenhoso bisseriado (secção tangencial); h'') Raio lenhoso bisseriado (secção radial); i) Parênquima axial; j) Raio lenhoso unisseriado (secção transversal).

- Parênquima- tecido de células alongadas, que desempenham funções de transporte e suporte, este constitui grande parte do lenho das árvores folhosas.
- Fibras- células de prosênquima, alongadas, com extremidades afiladas, designadas por traqueídos nas resinosas.
- Vasos- tubos longitudinais de elementos vasculares.
- Poros- orifícios resultantes da secção transversal de vasos e de traqueídos vasculares.
- Raio lenhoso- conjunto de células de parênquima dispostas radialmente.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

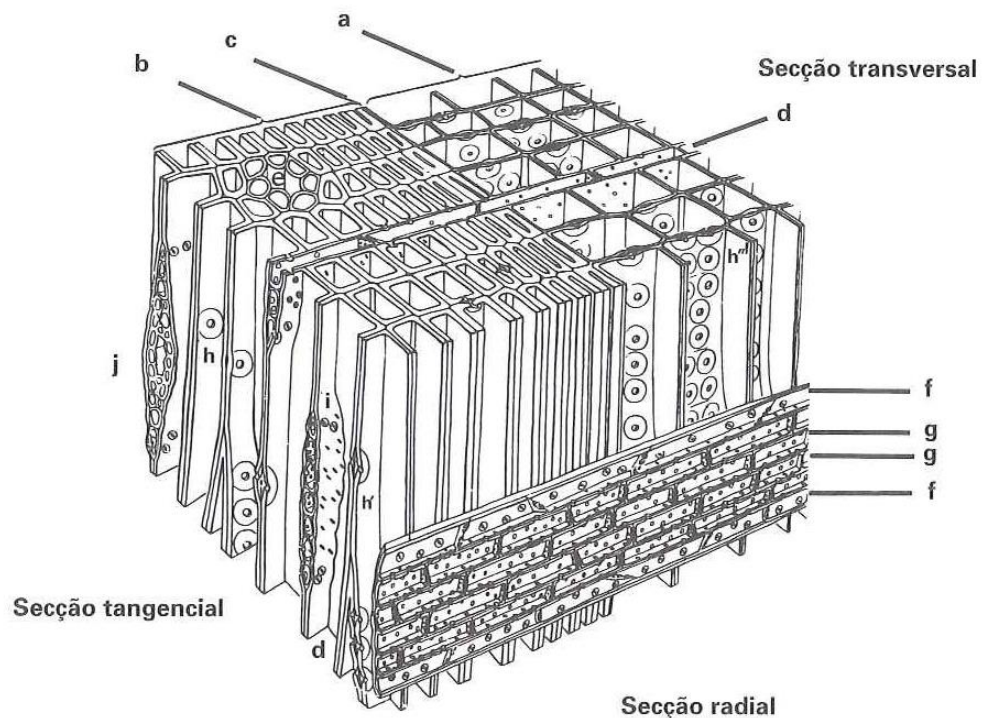


Figura 11 - Estrutura homoxilada de resinosas (Heterogenea). (Carvalho, 1996)

Legenda: a) Lenho inicial; b) Lenho final; c) Limite de camadas de crescimento; d) Raio lenhoso unisseriado (secção tangencial); e) Canal de resina vertical; f) Traqueídeos radiais (marginais); g) Células de parenquima; h) Pontuação areolada; h') Pormenor corte tangencial; h'') Pontuações bisseriadas; i) Pontuações de campo de cruzamento; j) Raio lenhoso fusiforme com canal de resina horizontal.

- Traqueídeos- células de prosênquima longitudinal ou radial, com pontuações areoladas e extremidades fechadas.
- Pontuação areolada- Depressões cilíndricas de uma das camadas da parede celular.
- Canal resinífero- via intercelular presente em certas Resinosas, limitado por células secretoras de resina.

O lenho de uma folhosa difere do lenho de uma resinosa por conter vasos lenhosos ou traquéias em maior número. Os vasos são os elementos de maior dimensão e tem a função de conduzir seiva. A principal característica anatómica das folhosas são as suas fibras, que compõem a maioria do seu tecido lenhoso. As fibras têm diâmetro inferior aos traquídeos das resinosas e estão dispostas longitudinalmente, tem elevado comprimento, extremidades fechadas e afiladas,

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

com diâmetros variados e reduzidos. Quando agrupadas conferem a resistência e a sustentação das árvores folhosas (Uriartt, 1997).

A madeira é composta, quimicamente, por duas substâncias básicas aproximadamente 60% holocelulose e 25% lignina. Outros constituintes, em menores proporções, estão contidos nas cavidades das células ou são produzidos por alterações das mesmas: óleos, resinas, açúcares, amidos taninos, substâncias nitrogenadas, sais inorgânicos e ácidos orgânico (Uriartt, 1997).

3.1.3. Macroscópica

Na macroestrutura observa-se que o crescimento de uma árvore se deve ao desenvolvimento de novas células. Na zona do câmbio, responsável pelo transporte de alimentos, com a passagem do tempo, as células mais idosas ficam revestidas por um anel de células novas. Na secção transversal de um tronco de uma árvore pode ser analisada a organização do material que a compõe. Com base na figura seguinte é possível identificar: (Uriartt, 1997), (Branco, 1993)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

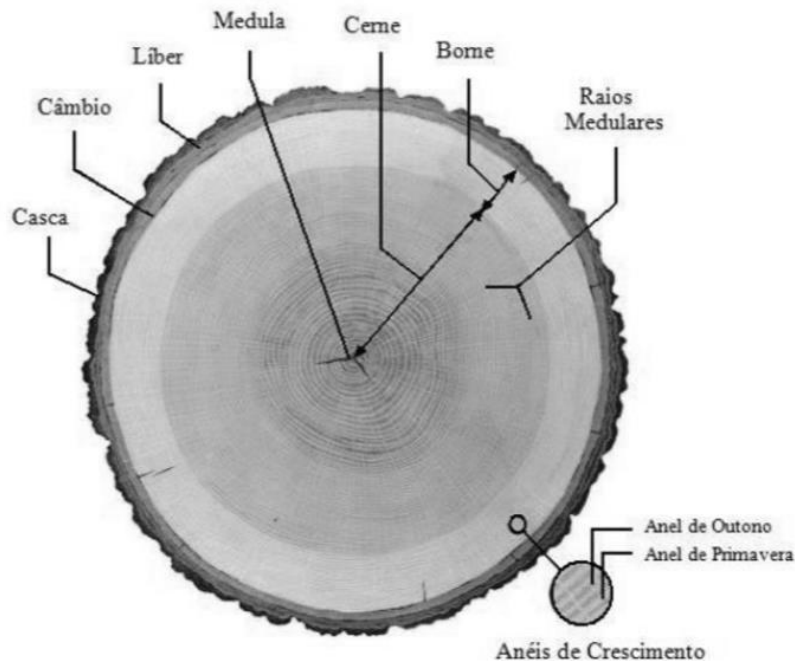


Figura 12 - Seção transversal de um tronco de árvore (H.H.&M, 2005)

A **casca** tem como função proteger o câmbio de excessos de evaporação e agentes destrutivos. A casca das árvores é de espessura variável dependente da espécie e da idade da árvore, está dividida em duas subcamadas: externa, ritidoma, composta por células mortas, sem tem interesse como material de construção. E interna, entrecasco ou líber, muito fina, composta por tecido vivo macio e húmido, com atividade fisiológica que transporta substâncias nutritivas das folhas para o tronco, seiva descendente. A formação dos anéis de crescimento, em torno da medula, ocorre devido a formação de mitose no líber.

O **câmbio** é uma camada fina de tecidos vivos entre a casca e o lenho constituída por células em permanente transformação, tecido merismático. O líber e o câmbio são essenciais para o crescimento da árvore, o corte de ambos resulta na morte da mesma. O método conhecido por secagem em pé consiste no estrangulamento destas camadas.

O **lenho** é responsável pela sustentação, transporte de seiva, e resistência da árvore, constitui a secção útil do tronco para obtenção de peças estruturais.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Sendo constituído por duas subzonas: borne e cerne. A camada de externa, borne ou albúrne, tem uma cor clara, é composta por células vivas, com baixa resistência mecânica e suscetível a ataques de fungos e insetos. Esta subcamada é condutora de seiva bruta, por ascensão capilar, desde as raízes até à copa.

A camada interna, **cerne**, tem uma cor mais escura, composta por células mortas, impregnadas de minerais, com maior densidade, compacidade, resistência mecânica e durabilidade, devido aos minerais presentes tem elevada resistência à criação de fungos. Nas árvores coníferas o cerne está embebido em resina enquanto que nas folhosas está impregnado de taninos.

A **medula** é composta por tecido macio e esponjoso, por vezes apodrecido, com resistência mecânica e durabilidade extremamente baixas ou insistente, não tendo interesse para construção. Em redor da medula dá-se o desenvolvimento inicial dos ramos.

A origem dos anéis de crescimento dá-se pelo crescimento da casca interior ou líber, largos e pouco distintos indicam climas tropicais e rápido crescimento, curtos e bem definidos indicam zonas temperadas ou frias e crescimento lento. Em cada anel anual pode ser observado o anel de Primavera, de cor mais clara, células longas de paredes finas, mais porosos e formando-se na Primavera Verão. O anel de Outono tem uma cor mais escura, com células estreitas e de paredes grossas, forma-se no Verão Outono.

O estudo dos raios lenhosos permite identificar a espécie da árvore assim como determinadas propriedades como a capacidade de variação de secção e resistência mecânica. Considera-se uma madeira jovem quando concebida a partir dos 5 a 20 primeiros anéis de crescimento. As madeiras produzidas pelo cerne da árvore, primeiros anéis, possuem características inferiores, como resistência e rigidez, e maior retração e inchaço na direção longitudinal, quando comparadas com madeiras criadas a partir do borne.

De uma forma geral, as madeiras provenientes das árvores resinosas exibem uma maior resistência a esforços de compressão, que as madeiras folhosas que apresentam uma maior resistência a esforços de tração. As madeiras com

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

elevada resistência à compressão apresentam anéis largos e maior quantidade de madeira de Verão. Estas características levam a uma maior densidade e consequentemente melhores características mecânicas, no entanto originam maior retratilidade longitudinal, sofrendo deformações consideráveis durante o período de secagem e exibindo tendência para colapsar de forma frágil.

3.2. Propriedades Físicas

A madeira é vítima de vários fatores que alteram as suas propriedades físicas. Estes fatores são fundamentalmente naturais, decorrentes da natureza da árvore e fatores tecnológicos, decorrentes dos métodos de aplicação. Entre os fatores naturais distinguem-se a espécie botânica da madeira, a massa do material, a localização da peça no lenho, a presença de defeitos e a humidade (Uriartt, 1997).

As propriedades físicas normalmente examinadas são a humidade, a retratilidade, a densidade, a condutibilidade elétrica, térmica e acústica assim como a sua resistência ao fogo (Uriartt, 1997).

Devido ao comportamento hidróscópico da madeira, capacidade de absorver ou perder água, a humidade das peças deve estar próxima da humidade de equilíbrio do ambiente em que estão inseridas, de forma a evitar variações de dimensão e características. A presença de água pode ser vista de três formas distintas:

- Água de constituição- faz parte da combinação química dos principais constituintes do material lenhoso, não é possível diminuir este tipo de humidade uma vez que tal resultaria na destruição do material (Uriartt, 1997).
- Água de impregnação- contida nas paredes celulares, a diminuição do teor de humidade provoca um aumento da resistência mecânica, no entanto a resistência ao choque e a sua consistência diminuem. O processo de saturação provoca uma expansão das células o que leva

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

à alteração de peso e volume da madeira, é possível regular ou eliminar este tipo de humidade recorrendo a métodos de secagem.

- Água livre, preenche os vazios capilares, após a saturação das células, a presença ou remoção de água livre não causa alterações nas propriedades da madeira.

A retratibilidade é a capacidade que a madeira tem de sofrer alterações de volume e dimensão, quando o seu teor de humidade varia entre 0% e o estado de saturação das fibras 25% a 30%, a perda ou aumento de água livre não influencia as dimensões da madeira (Uriartt, 1997), (Branco, 1993). Quando o teor de humidade aumenta o volume e o peso da madeira aumentam, contrariamente quando diminui esta contrai e perde peso. As variações dimensionais, são diferentes segundo as três direções da madeira, é quase nula no sentido fibras, longitudinal ou axial, e é o dobro no sentido tangencial do que no radial (Uriartt, 1997), (Branco, 1993).

Quando seca a madeira apresenta um bom comportamento como isolante elétrico, perdendo capacidades com o aumento do teor de humidade, as suas características podem ser melhoradas pela impregnação de resinas, baquelita etc (Uriartt, 1997).

Termicamente a madeira é um mau condutor, visto a sua estrutura celular capturar pequenas massas de ar e ser composta primariamente por celulose, que é má condutora de calor (Uriartt, 1997).

A densidade define-se como a relação entre a massa e o volume, medido a uma humidade constante. A densidade da matéria lenhosa, célula da madeira, é semelhante para todas as espécies, cerca de 1,5 para uma humidade de 15%. No entanto a densidade varia consideravelmente nas peças finais, com as condições de crescimento e a humidade. Para uma humidade de 15% define-se normal uma densidade de 15% e anidra de 0% (Branco, 1993).

A madeira não tratada, entra em combustão temperaturas na ordem dos 275° C. Inicialmente arde de forma superficial criando uma camada calcinada, que impede a propagação do fogo, permitindo a conservação das propriedades do

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

restante material. Num incendio de temperaturas de 1000° C, a madeira conserva durante algum tempo alguma resistência mecânica, enquanto perfis metálicos vem a sua resistência mecânica completamente alterada e colapsam a temperaturas de 300° C (Uriartt, 1997).

A durabilidade natural é a capacidade que a madeira possui de resistir a ataques por seres vivos. Elevada durabilidade é muitas vezes sinonimo com densidades elevadas.

3.3. Propriedades Mecânicas

A árvore possui uma elevada resistência mecânica proveniente da necessidade de resistir a variadas solicitações durante o seu período de vida, destacando-se a resistência aos esforços de flexão, produzidos pela ação do vento. Devido a ser um material com estrutura heterogénea e anisotrópica as propriedades mecânicas da madeira exibem grandes variações segundo a direção sobre a qual está solicitada (Uriartt, 1997).

O módulo de elasticidade da madeira varia segundo o tipo de esforço à qual esta está solicitada. Menor módulo de elasticidade representa uma menor resistência à compressão. De forma geral o módulo de elasticidade utilizado para fins de calculo é o correspondente à flexão.

No sentido axial, a madeira exhibe uma resistência elevada a esforços de tração e flexão, a atuação destes esforços aumenta a aderência entre as fibras, cada uma atingindo o valor correspondente à sua capacidade. Contrariamente, os esforços de compressão provocam a dilatação das fibras, levando à separação das mesmas, fenómeno visível pelo aparecimento progressivo de fendas longitudinais. A tração perpendicular às fibras, deve a sua resistência à aderência entre elas, é insignificativa quando comparada com a direção longitudinal (Branco, 1993). A rotura raramente se dá por ação de esforços de tração pura, dá-se regularmente quando acompanhada por esforços secundários e parasitas, resultante da necessidade de transmissão do esforço por meio de ligações. Estas ligações

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

interrompem as fibras, reduzem a secção resistente e originam solicitações secundárias na peça (Uriartt, 1997).

De uma forma geral, a resistência à compressão axial depende da espessura e organização das paredes das fibras, se as paredes forem espessas, a madeira diz-se compacta, densa e exibe alta resistência, apresentar elevado número de vazios e vasos de elevado diâmetro, a madeira é porosa, leve e exibe baixa resistência à compressão. A resistência à compressão transversal é normalmente inferior, comparada com a axial, e origina deformações muito rapidamente e irreversíveis (Branco, 1993).

A solicitação ao corte origina tensões tangenciais que atuam de formas distintas na madeira. O corte das fibras transversalmente leva à rotura por esmagamento, atingida por deslizamento das fibras na direção longitudinal.

Fatores como a humidade, duração da aplicação de cargas e qualidade afetam de forma significativa as propriedades mecânicas da madeira. De forma mais reduzida a madeira também é influenciada pela temperatura e dimensão das peças. O aumento do teor de humidade significa maior quantidade de água nas paredes celulares, conseqüentemente a resistência e o módulo de elasticidade sofrem reduções. A humidade afeta as propriedades mecânicas de formas diferentes, a resistência à compressão sofre uma redução significativa, a resistência à flexão é igualmente debilitada embora de forma menos considerável, no entanto redução da resistência à tração é desprezável.

A capacidade resistente da madeira diminui quando solicitada por grades intervalos de tempo, este fenómeno deve-se, maioritariamente, ao seu envelhecimento. Uma vez que a madeira, por ser um material orgânico, sofre transformações por oxidação, decomposição entre outros, o que leva ao esvaziamento das células ou tecidos, perdendo capacidade resistente (Uriartt, 1997).

A temperatura embora de forma reduzida provoca variações na resistência, para temperaturas inferiores a 0°C a resistência à flexão, compressão e ao impacto

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

sofre um declínio. De igual forma para temperaturas elevadas a madeira sofre uma redução gradual da sua capacidade resistente.

O fator mais influente na resistência mecânica é a qualidade da madeira, a presença de defeitos implica uma diminuição significativa da capacidade resistente dos elementos. Defeitos como nós, originados pelo desenvolvimento dos ramos da árvore, provocam desvios das fibras. Fendas longitudinais, geradas pela rotura dos anéis são resultado da falta de aderência entre as membranas da madeira.

3.4. Defeitos e Degradação da Madeira

As estruturas de madeira apresentam características que devido à sua origem vegetal possuem uma degradação bastante distinta das presentes em estruturas executadas em materiais de origem mineral (Faria, 2002).

As propriedades da madeira são substancialmente influenciadas pela presença de defeitos e irregularidades sendo esta a principal desvantagem da madeira como material construção. A origem dos defeitos e degradação deve-se fundamentalmente às características do material e à ação de agentes atmosféricos.

3.4.1. *Características do material*

As anomalias, defeitos e irregularidades influenciam substancialmente as condições de trabalho e propriedades da madeira, tanto na sua qualidade como os valores das suas capacidades físicas e mecânicas (Dias, 2008) (Porteous, 2007).

Os defeitos e imperfeições característicos do material são, geralmente, relacionadas com o ataque de seres vivos, estrutura do lenho, abate, secagem e tratamento incorreto da árvore (Cachim, 2007) (Porteous, 2007). Das anomalias provenientes da estrutura natural da árvore destacam-se os nós, fendas e a inclinação das fibras.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

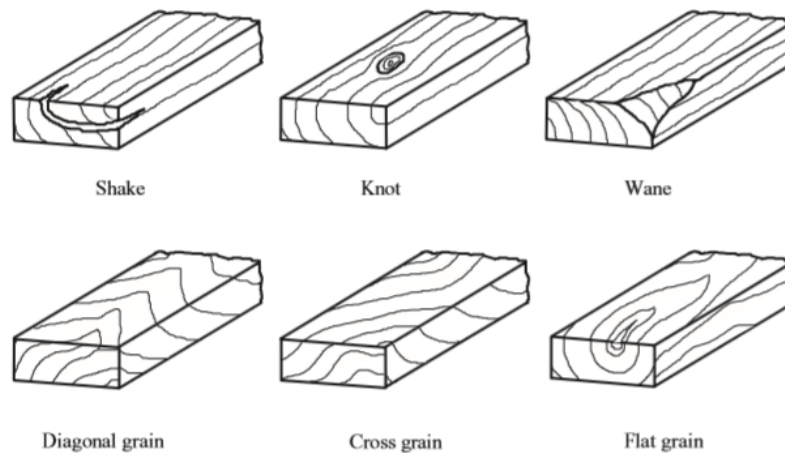


Figura 13 - Defeitos naturais e de conversão (Porteous, 2007)

- Nós - são interceções dos ramos no tronco da árvore, estes são os defeitos mais condicionantes na resistência global da madeira, tendo um efeito mais pronunciado sobre a capacidade resistente à tração e flexão (Dias; 2008). A existência de nós origina desvios nas fibras que os envolvem, criando um comportamento instável da peça quando sujeita a compressão paralela às fibras (Cachim, 2007)
- Fendas de secagem - surgem com maior frequência em elementos de grande secção transversal, resultado da retração da madeira durante o processo de secagem (Zoreta, 1986). Estas conduzem a uma menor secção resistente, originando problemas estruturais especialmente se localizadas em zonas de ligação entre peças ou elementos sujeitos a compressão axial (NP180, 1962). As consequências destas são de difícil quantificação, sendo provável que reduzam a rigidez dos elementos, e a sua existência leva ao aumento da suscetibilidade de combustão (Zoreta, 1986). Em construções antigas é possível encontrar cortes realizados nos extremos das fendas de forma a impedir a sua progressão.
- Inclinação do fio - consiste na inclinação das fibras relativamente ao eixo longitudinal das peças, a sua origem é resultado de um

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

processo de corte desadequado ou da natureza morfológica da madeira, devido à inclinação natural da árvore, normalmente associada aos ventos. O desvio do fio provoca empenos e fendas com a variação do teor de humidade (NP180, 1962). É um defeito comum nas estruturas de pavimentos em edifícios antigos.

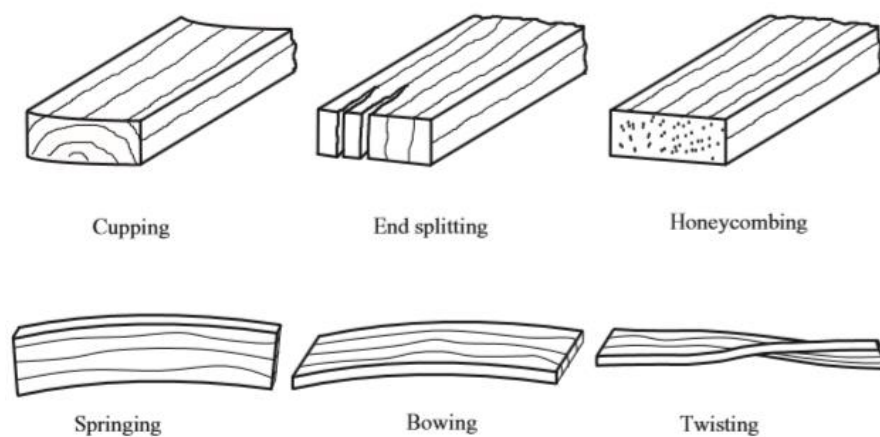


Figura 14 – Defeitos provocados por tratamento incorreto (Porteous, 2007)

3.4.2. Ação de agentes bióticos

Danos de origem biótica causam reduções significativas na capacidade resistente dos elementos atacados. Devido às substâncias nutritivas, como açúcares, resinas e amidos do lenho, a madeira é um material extremamente suscetível a ataques bióticos existindo variados agentes de degradação que alteram as suas propriedades, nomeadamente fungos e insetos xilófagos e insetos sociais (Dias, 2008).

Os **fungos xilófagos** desenvolvem-se em zonas húmidas e mal ventiladas, os estes entranham-se na madeira através de fissuras, criando uma substância fibrosa degradando as peças, tendo tendência a surgirem nas entregas dos elementos estruturais dos pavimentos e coberturas nas paredes (Dias, 2009). Os

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

fungos atuam de forma faseada, evoluindo desde manchas até decomposição e apodrecimento da madeira (Cachim, 2007). O apodrecimento apenas se torna visível quando a peça perde cerca de 10 a 20% do seu peso, o que corresponde numa perda de 80 a 95% da sua capacidade resistente (Arriga 2002).

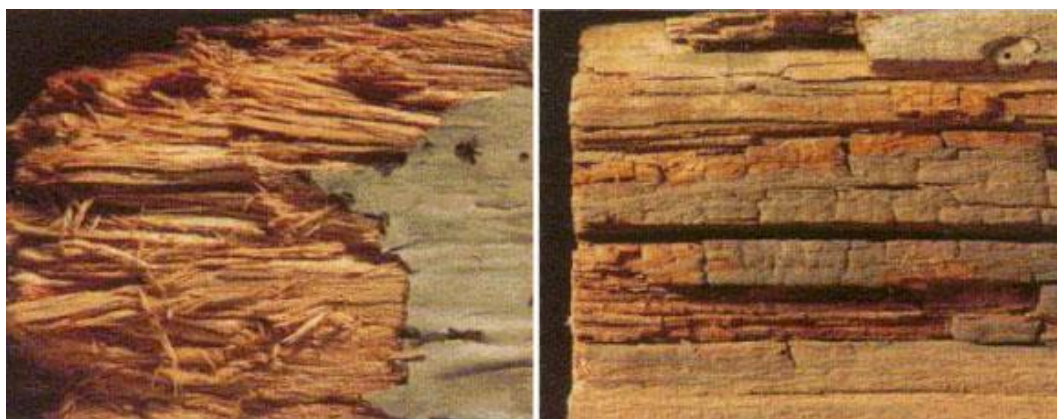


Figura 15 – Madeira atacada por fungos (Cruz, 2001)

Os **insetos xilófagos**, ou de ciclo larvar, mais comuns são os Anóbios e os Cerambicídeos, vulgarmente denominados caruncho e caruncho grande. Os Anóbios podem ser encontrados em zonas com elevado teor de água e a profundidades de 4 a 5cm, e alimentam-se do borne da madeira. De igual foram os Cerambícios alimentam-se principalmente do borne, no entanto evitam o cerne, o que limita o seu ataque nestas peças. O ataque é identificável pelo serrim produzido, consistindo na mistura de madeira e excrementos de inseto, que preenche as galerias escavadas pelos insetos, podendo atingir diâmetros de 1cm (Dias, 2008) (Botelho, 2006).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 16 - Danos provocados por caruncho

Os **insetos sociais**, nomeadamente as térmitas, na península ibérica dividem-se em dois grupos *Reticulitermes Lucifigus Rossi* e as *Kaloterms Flavicollis*. Os primeiros desenvolvem ninhos no solo, acedendo à madeira através de galerias, os segundos fazem ninhos no interior dos elementos de madeira (Arriga, 2002). Estes insetos preferem madeira de primavera, uma vez que é menos densa, e o seu ataque consiste na abertura de galerias de espessura reduzida de 1 a 2mm, paralelas à orientação do fio, deixando intacto o material entre galerias e o exterior da madeira, o que leva a uma deteção tardia e num estado avançado (Botelho, 2006) (Dias, 2013).



Figura 17 - Danos provocados por térmitas

3.4.3. *Ação de Agentes Atmosféricos.*

A ação da radiação solar e da chuva, através de ciclos de molhagem/secagem contribui largamente para a degradação da madeira. Devido à grande variação dimensional da madeira em relação ao seu teor de água, a ocorrência destes ciclos provoca variações volumétricas, dando origem a tensões internas nas peças, e consequentemente a sua degradação através do aparecimento de empenos e fendas (Botelho, 2006). A abertura de fendas permite a retenção de humidade na madeira, aumentando a probabilidade de ataques de agentes bióticos, levando ao envelhecimento e à diminuição da resistência da peça (Dias, 2008), (Botelho, 2006). A humidade não origina, por si só, a degradação da madeira, a sua permanência em ambientes húmidos e com ventilação insuficiente cria condições favoráveis ao aparecimento dos agentes biológicos (Faria, 2002b)

A camada superficial da madeira, exposta à radiação solar, decompõem-se devido à ação dos raios ultravioleta, levando à alteração da tonalidade amarelada, para acinzentada. Quando a madeira é posteriormente lavada, uma nova camada é exposta à radiação, conduzindo a um processo de degradação contínuo (Botelho, 2006). A ação do sol contribui ainda para a abertura de fendas, o que em conjunto com a presença de água promove e acelera o ataque de agentes bióticos (Faria, 2006).

A ação da precipitação assim como a água proveniente do solo, levam ao aumento do teor de humidade na madeira, que influencia de forma significativa as características da mesma. Sendo que, a subida do teor de água leva a uma menor capacidade resistente, proporciona o inchaço e aumenta a suscetibilidade de ataques biológicos. A infiltração de água pelo solo pode se dar por capilaridade, ou pelo contacto direto com elementos de madeira, aumentando a probabilidade de ataque de térmitas. A humidade de precipitação provem de infiltrações pela cobertura, paredes ou vãos de portas e janelas, sendo mais comum em edifícios abandonados. A presença de água associada aos ciclos de secagem/molhagem e variações de temperatura leva à criação de condições propícias ao desenvolvimento

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

de fungos e ataques de insetos, particularmente carunchos e térmitas. O resultado destes ataques leva à redução da secção útil das peças nas zonas de ligação com as paredes, originando deslocamentos verticais e rotações, acompanhados da redistribuição de esforços e da ocorrência de vibrações acentuadas nos pavimentos (Appleton, 2003).

3.4.4. Danos Provenientes da Má conceção.

Regularmente danos encontrados em pavimentos de madeira devem a sua origem à má conceção ou construção do seu esqueleto estrutural, destacando-se entre os erros mais comuns a utilização de peças com secção insuficiente, para resistir às solicitações presentes, ausência de tarugamento e incorreta ligação entre soalho e vigas (Dias, 2013). Sendo característico a negligencia, em fase de projeto, de fenómenos como a fluência da madeira, levando à origem de deformações significativas a longo prazo. De igual forma o incorreto dimensionamento de elementos de ligação, pode levar a roturas e deslizamentos das peças (Faria, 2006). Durante a vida útil dos edifícios a realização de obras e alteração da utilização dos mesmos leva, por diversas vezes à origem de danos estruturais, nomeadamente devido à remoção ou alteração de elementos estruturais, à utilização de materiais desadequados e à alteração das solicitações as quais o edifício está sujeito (Dias, 2013).

4. Inspeção e Recolha de Informação

Tendo em consideração a importância da conservação da arquitetura, métodos construtivos e história dos edifícios, num projeto de reabilitação é essencial realizar uma análise detalhada do edifício. Esta permite determinar o nível de intervenção necessário de forma a preservar da melhor forma os valores já referidos e conferir as características e propriedades desejadas nos tempos modernos.

Esta inspeção prévia deve ser exaustiva, procurando determinar o estado global do edificado, assim como fornecer indicações acerca de zonas críticas e de elementos com maior necessidade de reparação (Ornelas, 2006). A recolha de informação deve ser adaptada a cada situação, uma vez que cada reabilitação apresenta características, e estado de conservação diferentes, este facto leva à ausência de estratégias, métodos de análise pré-definidos (Cóias, 2006).

O estudo deve passar pelo levantamento de todos os materiais utilizados, assim como a geometria do edifício e o seu estado de conservação estrutural (Appleton, 2003). A determinação do estado atual do edificado permite avaliar o nível de intervenção, técnicas e ações a implementar (Paupério, 2001).

4.1. Inspeção Visual

A inspeção visual consiste no levantamento de todos os materiais presentes no edificado, estruturais e não estruturais, assim como a identificação de possíveis danos e o seu estado de conservação. Para este efeito é necessário acesso aos elementos estruturais, sendo a análise de pavimentos de madeira uma das maiores dificuldades encontradas nesta fase. De forma a obter contacto físico e visual com estes elementos é necessário estabelecer um método de remoção dos elementos não estruturais, como soalho e tetos, de modo a minimizar a quantidade de material a remover. É ainda importante proceder à limpeza da sujidade, pó, detritos de

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

animais destas zonas, com escova de fibra vegetal ou sintética e aspirador, antes de iniciar a inspeção destes elementos (Feio, 2006), (Dias, 2013).

Existem dois objetivos fundamentais, o levantamento dos materiais e o levantamento de danos.

O levantamento das características dos elementos estruturais consiste na identificação do grupo de madeiras a que pertencem, resinosas ou folhosas e a percentagem de borne e de cerne (Machado, 2000). Assim como as suas dimensões, secções transversais, vãos, espaçamento entre vigas, espessura de soalhos e a existência de tarugamento e o seu funcionamento. É ainda importante identificar as condições de apoios das vigas na parede, se existem folgas, e condições e quantidade de argamassa.

De forma a complementar a informação, relativa aos materiais estruturais, é necessário realizar ensaios, destrutivos ou não destrutivos e sondagens superficiais. Esta informação, regularmente acompanhada por levantamentos fotográficos e topográficos, leva à criação de esquemas estruturais, que posteriormente, poderão vir a ser necessários para efetuar, uma modelação numérica do edifício (Faria, 2006).

A avaliação do estado de conservação das peças, consiste na determinação e localização das anomalias estruturais, procurando encontrar as causas que levaram à origem dessas. Nesta avaliação procura-se detetar zonas com roturas mecânicas ou deformações excessivas, peças com defeitos, assim como identificar a qualidade da madeira (Machado, 2000).

Deformações excessivas, elementos desalinhados e falta de rigidez são indicativos de degradação dos elementos de madeira ou das suas ligações e consequente perda de resistência. A presença de irregularidades na textura, alterações de cor, empolamentos, serrim ou canis de terra indicadores do tipo de agente causador de degradação (Feio, 2007) (Dias, 2013).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

4.1.1. Classes de Qualidade

A avaliação da resistência dos elementos de madeira antigos assenta muitas vezes nos critérios de avaliação para madeira serrada em estruturas novas, que consiste na identificação da espécie, na sua qualidade e estado de conservação (Machado, 2006).

A classe de qualidade é determinada com recurso à observação visual, tendo em conta a dimensão e tipo de defeitos presentes na peça em estudo. Com esta informação e o conhecimento da espécie da madeira é possível determinar, através das normas aplicáveis, os valores característicos da resistência mecânica da peça em estudo (Machado, 2000).

No entanto, a classificação visual mostra pouca objetividade, devido à inclusão numa classe ser dependente da apreciação do técnico, e não considerar propriedades importantes, como a massa volúmica. O facto de a classificação ser baseada na inspeção visual realizada segundo uma norma recente, torna a avaliação mais difícil uma vez que as normas atuais não consideram as secções utilizadas em construções antigas (Branco, 2004). Para além de exigir o envolvimento de técnicos especializados e experientes, e a análise de vários fatores, a classificação visual não considera a existência de defeitos internos das peças, que podem ter elevada influência na capacidade resistente dos elementos (Botelho, 2006).

A avaliação das estruturas pode ser realizada de duas formas distintas:

- Através da análise individual de todos os elementos, considerando os defeitos existentes e o seu efeito nas propriedades mecânicas das peças, sendo ainda afetado coeficientes de correção, devido à geometria ou utilização e danos mecânicos presentes (Machado, 2006).
- Atribui a mesma classe de qualidade a todos os elementos, considerando os defeitos presentes na globalidade e a distribuição de esforços, admitindo uma maior percentagem de peças de qualidade

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

inferior à classe atribuída, considerando ainda as limitações apresentadas pelas normas de classificação. A segunda abordagem apresenta um caráter mais conservativo, uma vez que a classe de qualidade engloba elementos com diferentes níveis de defeitos, não considerando que elementos da mesma classe podem ter capacidade resistente distintas (Machado, 2006).

A classificação é realizada em função das características da madeira, dos defeitos associados à sua estrutura, das suas alterações e das limitações que estes parâmetros originam.

Com recurso a ensaios, a madeira foi classificada em classes, as quais são associadas a valores característicos de resistência, massa volúmica e rigidez entre outros. O sistema europeu de classificação de qualidade da madeira baseia-se nas normas da série EN 14081. A classificação visual baseia-se na limitação dos defeitos por classe, sendo os principais defeitos:

- Número e localização de nós;
- Desvio do fio;
- Descaio;
- Fendas.

4.1.2. Classes de Resistência

As classes de resistência consistem no agrupamento de madeiras, segundo as suas propriedades físicas e mecânicas. As classes são designadas pela sigla correspondentes à população lenhosa a que pertencem e a capacidade resistente associada.

- C- Resinosas (Coniferous);
- D- Folhosas (Deciduous).

Seguidas por número correspondente ao valor da resistência característica à flexão na direção do fio em newton por milímetro quadrado (N/mm²).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Os valores característicos encontrados na EN338 foram obtidos, através de ensaios intensivos para as propriedades principais, massa volúmica resistência à flexão na direção das fibras e módulo de elasticidade. Sendo os restantes valores resultado de extrapolação estatística dos resultados dos ensaios. A relação entre espécie e qualidade da madeira com a sua classe de resistência é dada através da sua resistência à flexão, massa volúmica e módulo de elasticidade.

Tabela 1 - Classe de Qualidade/ Classe de Resistência para algumas madeiras utilizadas em estruturas (LNEC M1, 1997)

Madeira	Classe de Qualidade (norma)	Classe de Resistência
Pinho bravo (<i>Pinus pinaster</i> Ait.)	E (NP 4305)	C18*
Casquinha (<i>Pinus silvestris</i> L.)	SS (BS 4978)	C24
	GS (BS 4978)	C16
Espruce (<i>Picea abies</i> Karst.)	S13 (DIN 4074)	C30
	S10 (DIN 4074)	C24
	S7 (DIN 4074)	C16
Câmbala (<i>Milicia excelsa</i> A. Chev. Ou <i>M. regia</i> A. Chev.)	HS (BS 5756)	D40
* Para a classe E do Pinho bravo, recomenda-se a adopção dos valores indicados na Ficha LNEC M2: "Pinho bravo para estruturas".		

4.1.3. Classificação de Madeira Antiga

A avaliação da segurança de estruturas de madeira antigas é de elevada complexidade, devendo ser estudada a sua resistência, estado sanitário e integridade dos elementos que as compõem (Negrão, 2009). No processo de avaliação é fundamental identificar os defeitos resultantes de solicitações, falhas pontuais de elementos e deterioração de ligações (Pereira, 2009).

O esquema de avaliação mais utilizado baseia-se na norma EN338, a qual refere a possível indexação de uma determinada população de madeira a uma dada classe de resistência, desde que a sua resistência à flexão e o seu módulo de elasticidade na direção paralela às fibras, e a sua massa volúmica sejam superiores aos indicados na respetiva classe (Freitas, 2012).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

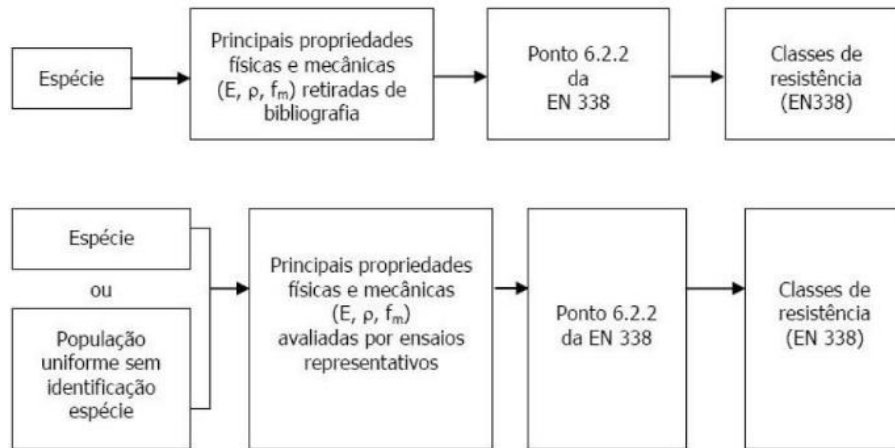


Figura 18 - Atribuição de classes de resistência a madeiras em serviço. (Freitas, 2012)

De modo a classificar madeira antiga é essencial identificar a espécie da qual a peça é composta, através de características visuais como cor, dimensão e disposição dos anéis de crescimento, rigidez superficial entre outros fatores, ou através de recolha de amostra e análise laboratorial (Negrão, 2009).

4.2. Ensaios Não Destrutivos

A aplicação de ensaios “in situ” representam uma parte importante da conservação das estruturas, uma vez que permitem avaliar o estado de conservação dos elementos e determinar valores característicos das suas propriedades físicas e mecânicas, mantendo a integridade das peças em estudo (Feio, 2005). Estes ensaios variam desde os mais tradicionais, como o martelo e o formão, até ao uso de equipamentos sofisticados como humidímetro, martelo de Schimdt, e termografia. Seguidamente serão descritos os ensaios com Resistograph e pylodin, encontrando-se entre os ensaios mais comuns devido à sua fácil e rápida execução, proporcionado informação de fácil interpretação, relevante e instantânea, sem necessidade de tratamento de dados.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

4.2.1. Resistograph

O Resistograph é utilizado desde 1985 na inspeção de estruturas de madeira e na avaliação da degradação biológica de árvores, este relaciona a energia necessária na penetração de uma agulha com a resistência da madeira a esta perfuração (Bertoliniet, 1998) (Freitas, 2012). Devido às dimensões das perfurações realizadas serem praticamente impercetíveis este ensaio permite determinar o estado do interior dos elementos sem influenciar a sua capacidade resistente.



Figura 19 - Resistograph. (Foto Caçador, 2017)

Os resultados deste ensaio permitem localizar variações de densidade entre áreas de madeira saudável e de madeira degradada. Estas variações são indicativas de defeitos no interior das peças, como anéis de crescimento, nós, fendas, zonas de degradação biológica bolsas de resina entre outros (Bianco, 2017). De forma a garantir a correta análise dos resultados deste ensaio este deverá ser realizado por um técnico com conhecimento das propriedades da madeira, como a identificação de anéis de crescimento, medições radiais e tangenciais, defeitos e zonas de lenho inicial e final (Dias, 2008) (Botelho, 2006).

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

A interpretação imediata dos resultados permite uma avaliação qualitativa das peças, no entanto estabelecendo uma correlação numérica em função das espécies de madeira, é possível obter dados relacionáveis com propriedades mecânicas, como a densidade, módulo de elasticidade e módulo de rutura na direção do fio. No entanto o tempo necessário assim como limitações no fundamento do método podem induzir erros nestes valores, tornando-se numa desvantagem deste método (Botelho, 2006).

4.2.2. Pilodyn

Os ensaios com Pilodyn, em elementos de madeira, permitem determinar a densidade superficial do material de acordo com a qualidade da madeira e seu estado de conservação (Bianco, 2017). Este instrumento foi originalmente concebido para a determinação da densidade de árvores em plantações sendo atualmente aplicado em todo o tipo de elementos de madeira. Este ensaio é especialmente útil na análise de estruturas extremamente antigas em que uma campanha com Resistograph possa ser muito agressiva (Bianco, 2017). No entanto o Pilodyn não permite determinar o estado interior das peças com exatidão, tornando-o de uma forma inferior ao Resistograph.

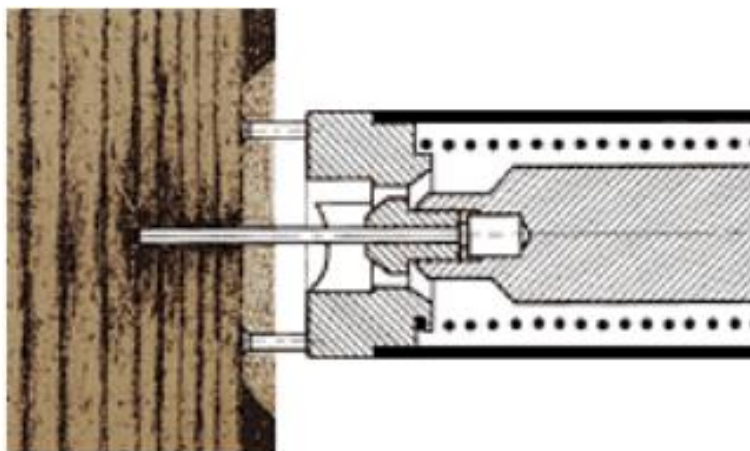


Figura 20 - Esquema de funcionamento Pilodyn (Proceq, 2003)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

O funcionamento do Pilodyn consiste na perfuração da madeira por uma agulha metálica, que sofre um impacto com uma força constante e conhecida, o aparelho mede a profundidade obtida, através da cova de conversão é obtida a densidade superficial do elemento em estudo (Bianco, 2017).

Através da correlação entre a densidade superficial obtida e as propriedades da madeira é possível determinar alguns parâmetros físicos da madeira, como a massa volúmica (Feio, 2005).

4.3. Ensaaios Destrutivos

De forma a caracterizar a resistência mecânica dos elementos estruturais, devem ser realizados ensaios destrutivos. Estes ensaios dividem-se em ensaios em provetes pequenos isentos de defeitos e em provetes de tamanho real. Os ensaios de provetes pequenos podem ser considerados semi-destrutivos, uma vez que devido às suas dimensões não implicam a inutilização do elemento estrutural do qual são provenientes. No entanto os ensaios em provetes de tamanho real implicam a destruição do elemento ensaiado, tornando-o completamente inútil. Estes ensaios seguem as seguintes normas:

- Ensaaios de provetes de pequena dimensão e isentos de defeitos, em Portugal, realizam-se segundo as normas NP616 (1973), NP618, (1973), NP620 (1973), NP621 (1973), NP622 (1973), NP623 (1973);
- Ensaaios de provetes de tamanho real, contendo defeitos naturais da madeira, são executados segundo a norma EN338 (2003).

O comportamento mecânico da madeira diverge significativamente quando ensaiada em provetes de pequena dimensão e de tamanho real, sendo notório no modo de rotura à flexão. Este fenómeno deve-se essencialmente à presença de defeitos, que diminuem significativamente a resistência mecânica da madeira.

4.3.1. Ensaaios em Provetes Isentos de Defeitos

A obtenção das propriedades mecânicas da madeira, com recurso a provetes de pequenas dimensões e isentos de defeitos, começou a ser utilizada há cerca de 40 anos atrás, continuando até hoje. Os resultados provenientes ensaios são usualmente afetados por coeficientes de correção e segurança, de forma a considerar o tamanho real da peça em estudo e a existência de defeitos. As normas portuguesas nas quais os ensaios se baseiam são as seguintes:

- Massa Volúmica (NP616, 1973);
- Compressão Axial (NP618, 1973);
- Flexão Estática (NP619, 1973);
- Flexão Dinâmica (NP620, 1973);
- Tração Transversal (NP621, 1973);
- Fendimento (NP622, 1973);
- Corte (NP623, 1973).

Embora não exista menção, nas normas portuguesas, devem ser aplicados fatores corretivos aos valores obtidos nos ensaios, estes devem-se a correções relacionadas com o teor de humidade, duração aplicação da carga, dimensões da peça, qualidade da madeira e coeficientes de segurança (Alvarez, 2000).

Os fatores corretivos aplicados, são semelhantes para todas espécies, no entanto as diferentes características entre estas tornam esta prática desadequada. De uma forma generalizada, espécies com nós pequenos e em grandes quantidades apresentam um comportamento superior, quando comparadas com espécies com menor número de nós, mas de maior dimensão. Este fenómeno comprova que, a utilização do mesmo fator corretivo é desadequado, uma vez que o efeito e frequência dos defeitos influenciam a resistência da peça, levando a conclusões não correspondentes com a realidade (Alvarez, 2000).

A designação destes ensaios como “semi-destrutivos” muitas vezes, não é a mais correta, uma vez que o processo de remoção dos provetes pode resultar na inutilização do elemento a estudar. Regularmente a extração dos provetes para

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

ensaiar à flexão, devido às suas dimensões, podem causar quebras de secção consideráveis, como tal, a localização de remoção de provetes deve ter em vista minimizar as consequências negativas para o elemento estrutural.

4.3.2. Ensaaios em Provetes de Tamanho Real

Os elementos estruturais apresentam defeitos e variação de qualidade ao longo da sua secção. De forma a simular as condições reais são realizados ensaios em peças de dimensões reais, com os respetivos defeitos. As normas utilizadas para determinação das propriedades mecânicas de peças nestas condições são as seguintes:

- EN 408, 2003, “Timber Structures. Structural timber and glued laminated timber –Determination of some physical and mechanical properties”. Especifica métodos de ensaio para a determinação das propriedades mecânicas de peças estruturais de madeira maciça ou lamelada colada: módulo de elasticidade em flexão; módulo de distorção; resistência à flexão; módulo de elasticidade em tração paralela ao fio; resistência à tração paralela ao fio; módulo de elasticidade em compressão paralela ao fio; resistência à compressão paralela ao fio; módulo de elasticidade em tração perpendicular ao fio; resistência à tração perpendicular ao fio; módulo de elasticidade em compressão perpendicular ao fio; resistência à compressão perpendicular ao fio; resistência ao corte. Descreve ainda o modo de determinação das dimensões, do teor em água e da massa volúmica das peças de ensaio;
- EN 384, 2004, “Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density”. Estabelece o procedimento para a determinação dos valores característicos das propriedades mecânicas e da densidade para uma determinada população de madeira e inclui relações que permitem deduzir os valores característicos de algumas propriedades mecânicas a partir

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

dos valores característicos da resistência à flexão, densidade e módulo de elasticidade.

O ensaio de elementos com presença de defeitos proporciona informações importantes acerca do comportamento das estruturas de madeira. Sendo fundamental perceber e analisar os vários aspetos relativos à qualidade das peças ensaiadas, como o número, dimensões e localização de nós nas zonas onde ocorre a rotura e a inclinação do fio (Botelho, 2006).

4.3.3. Comparação Provetes Isentos de Defeitos e Provetes de Tamanho Real

O ensaio de provetes pequenos e isentos de defeitos pode fornecer resultados desajustados à realidade das peças em utilização. A madeira livre de defeitos e a utilizada nos elementos estruturais, com presença de nós e fendas, apresentam comportamentos distintos. Tornando o ensaio de provetes pequenos, na maioria dos casos, uma forma desadequada de determinar as propriedades mecânicas da madeira. Sendo preferível ensaiar peças com dimensões e nas condições reais.

O ensaio de peças com dimensões reais é comum na avaliação de elementos estruturais novos, no entanto, no cenário de reabilitação a execução destes torna-se complicada, uma vez que a sua realização implica a destruição dos elementos. Nestas situações deve ser ponderado a necessidade e interesse de realizar ensaios em provetes pequenos, que embora exibam limitações ao nível de resultados, apresentam a vantagem de não causar a inutilização dos elementos em estudo.

5. Caso de estudo

No presente capítulo faz-se o enquadramento, caracterização, inspeção e diagnóstico do edifício estudado de forma a proceder ao levantamento de dados relativos à sua capacidade estrutural e estado de conservação, sendo realizados ensaios não destrutivos, utilizando o Resistograph. Faz-se ainda a análise de uma campanha de ensaios destrutivos e não destrutivos, realizados nos pavimentos da edificação, com o objetivo de determinar as características dos mesmos. Embora a execução de ensaios destrutivos seja evitável, pois impossibilita a posterior utilização dos elementos ensaiados, estes foram possíveis devido a demolição parcial do edifício, por incompatibilidades arquitetónicas.

Os ensaios em laboratório foram realizados sobre provetes isentos de defeitos retirados das vigas dos pavimentos, e sobre duas vigas de dimensão real. Estes ensaios foram executados com o objetivo de determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira, nomeadamente a massa volúmica, tensão de rotura à flexão na direção do fio e módulo de elasticidade na direção do fio. Com recurso a estes provetes foi ainda possível realizar a identificação da espécie da madeira.

5.1. Caracterização da Obra

O edifício em estudo situa-se na cidade do Porto, e pertence a um conjunto de casas geminadas construídas entre 1934 e 1950. A habitação possui 160m² divididos igualmente por três pisos. A figura seguinte mostra o levantamento arquitetónico da habitação.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 21 - Plantas levantamento arquitetônico cave, rés-do-chão, primeiro piso

O edifício esteve inabitável durante alguns anos devido ao colapso de parte da cobertura e aos posteriores danos causados por este colapso, o edifício será alvo de uma intervenção. Esta reabilitação visa a modificação e modernização do edifício de forma a garantir condições de habitabilidade.

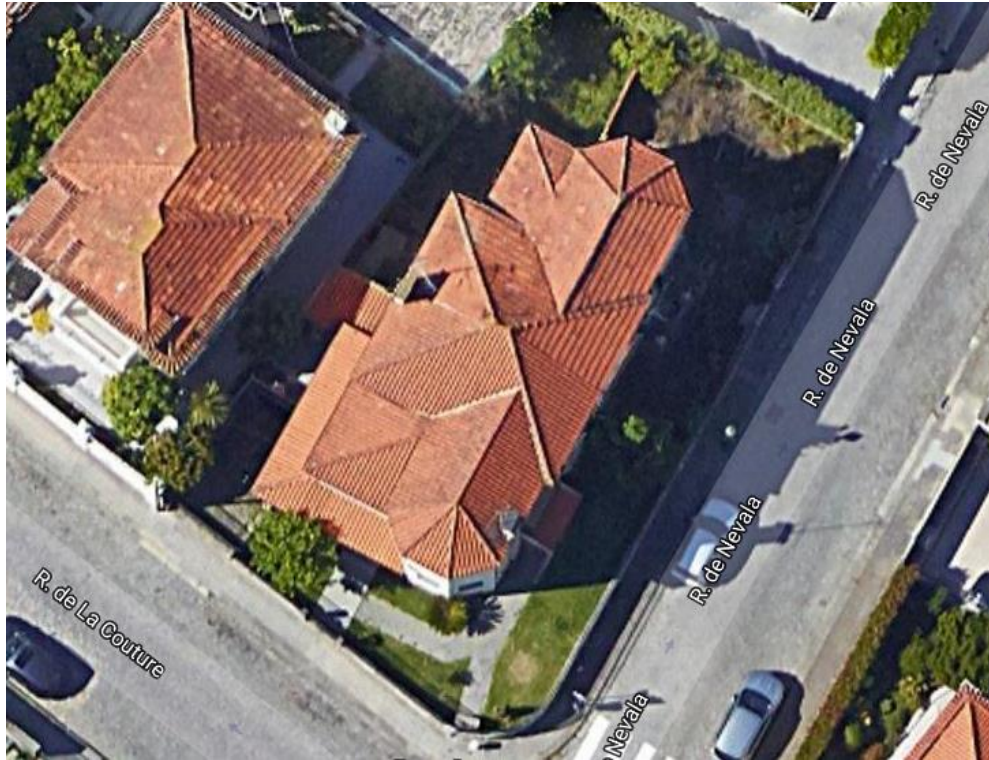


Figura 22 - Vista satélite edifício de estudo (Google maps, 2017)

O estudo prévio descreve, a nível exterior, a preservação das fachadas, a substituição da cobertura, uma vez que grande parte da mesma se encontra colapsada ou instável, e a execução de um anexo que servirá de garagem. A nível interior, prevê-se que a maior modificação seja a substituição da caixa de escadas devido ao seu pé direito ser muito baixo na ligação do piso do rés-do-chão à cave. A nova configuração irá ainda permitir a execução da ligação do edifício ao novo anexo.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

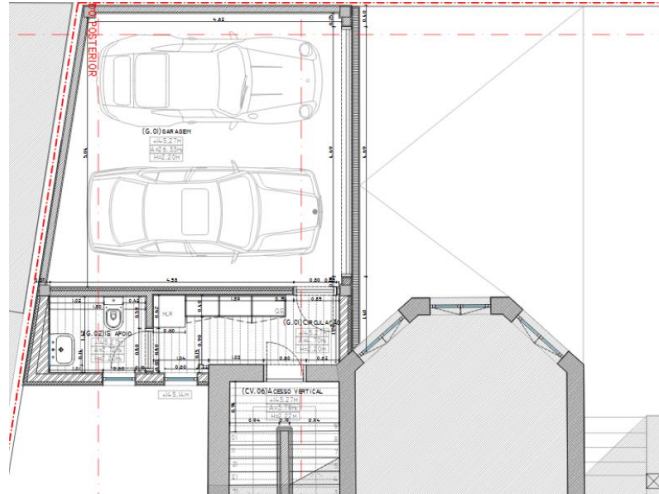


Figura 23 - Planta piso de garagem (C. Oliveira, 2017).

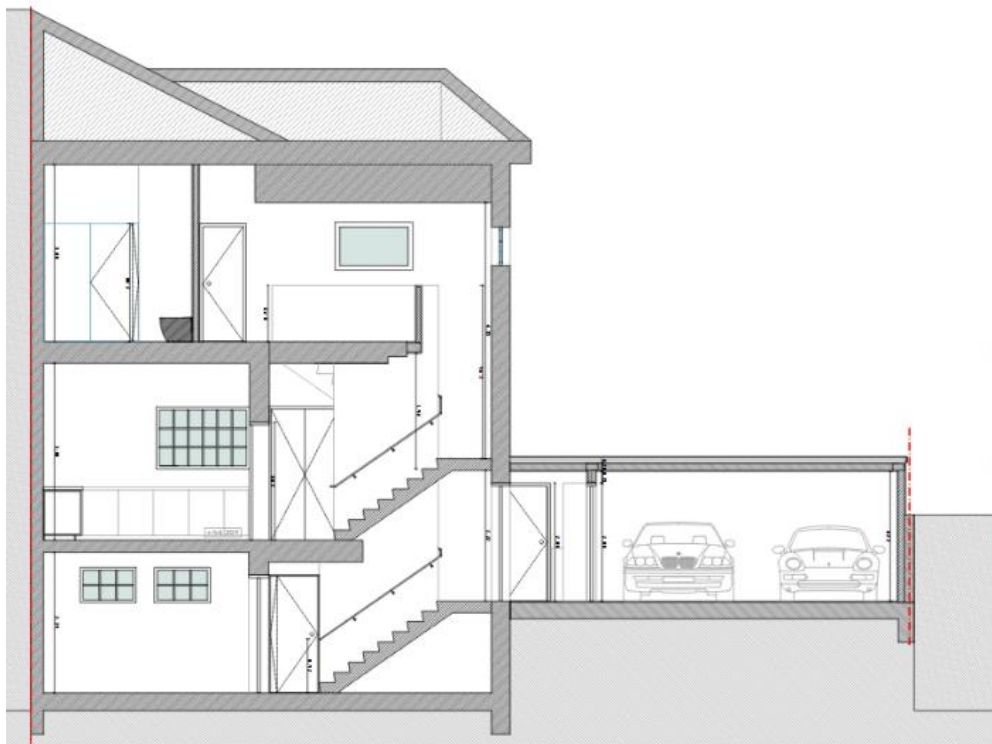


Figura 24 - Corte AA' ligação habitação existente ao novo anexo (C. Oliveira, 2017).

A configuração prevista após a reabilitação dotará a cave de duas salas, um quarto, casa de banho e um pequeno espaço de arrumos. O rés-do-chão de cozinha, sala de estar e jantar e o primeiro piso um quarto, casa de banho e suite com casa de banho.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

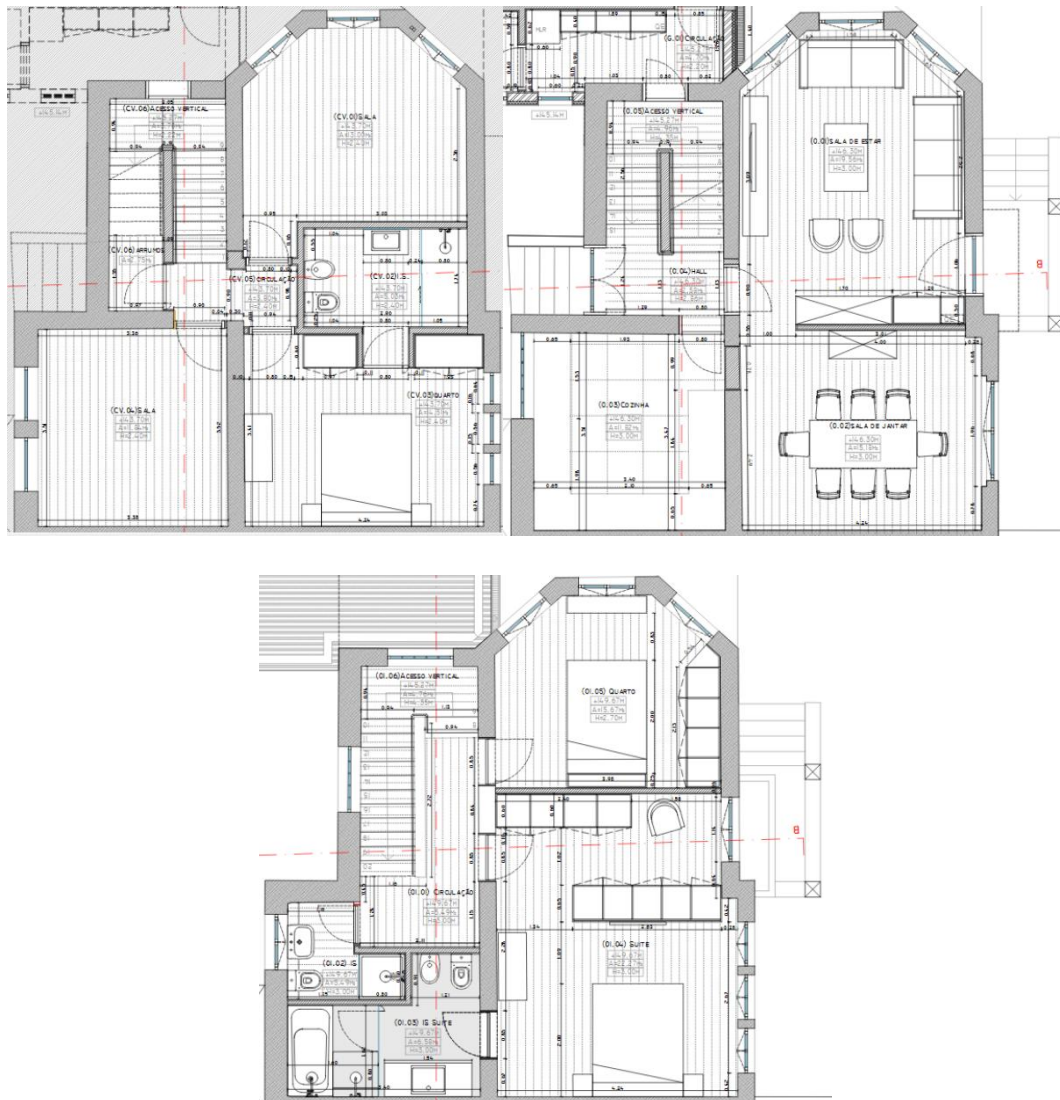


Figura 25 - Planta projeto prévio cave, rés-do-chão e piso um (C. Oliveira, 2017).

5.2. Descrição Estrutural

Os materiais utilizados na estrutura do edifício são os característicos das construções executadas na época, sendo os elementos verticais em alvenaria, e elementos horizontais em madeira com a notória exceção das envolventes da cozinha, onde os pavimentos são em laje maciça de betão armado, de forma a retardar o alastramento de potenciais incêndios.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Devido à falta de dados e meios não foi possível determinar as dimensões e profundidade das fundações, no entanto considera-se que estas estão no alinhamento das paredes de alvenaria do rés-do-chão sendo um pouco mais largas e executadas com pedras irregulares.

As paredes estruturais são em bloco de granito com cerca de 0,30m de espessura, revestidas pelo exterior com argamassa de cimento, criando corte hídrico e argamassa de acabamento com saibro e cal hidráulica. Pelo interior é revestida por argamassa de saibro com cal hidráulica e cal viva com média de 0,05m de espessura.

O esquema estrutural dos pavimentos de madeira é simples e semelhante nos dois pisos, sendo constituído por vigas de pinho nacional, dimensões 0,22m de altura e 0,08m de largura com comprimento máximo de 4,5m, afastadas de 0,50m e encastradas nas paredes estruturais do edifício com entregas de cerca de dois terços da espessura das paredes. Os elementos constituintes da caixa de escada partilham as mesmas características e dimensões dos presentes nos pavimentos.

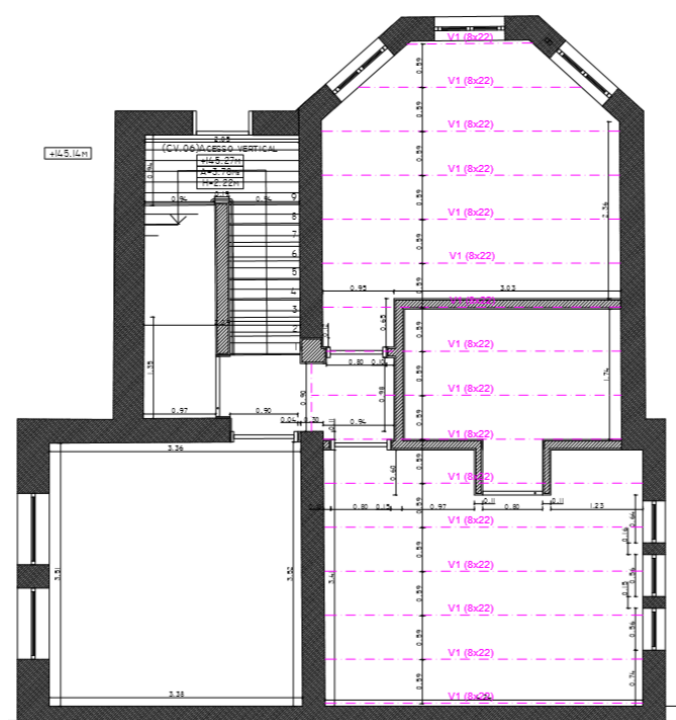


Figura 26 - Localização e dimensões das vigas de pavimento

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Os pavimentos são revestidos por soalho em madeira de pinho, com espessura de 3 cm, largura de 10 cm e comprimento de 1,6m com sistema macho-fêmea e pregado às vigas.

6. Apresentação e Análise de Resultados

6.1. Inspeção Visual

A deslocação à obra permitiu verificar o estado de conservação e danos da mesma, sendo a anomalia mais relevante o colapso da cobertura que além de danos diretos, devido à sua ausência permitiu a ação dos elementos, que causaram mais danos à habitação.

A observação primária da habitação revela danos provocados pela presença de insetos sociais e xilófagos em vários elementos de madeira, desde o pavimento térreo, acabamentos e especialmente nos elementos estruturais da cobertura. Embora não tenham sido encontrados insetos no interior dos elementos os danos causados por estes são extensos, pondo em causa a integridade da cobertura sendo necessária a substituição total da mesma. Foram ainda observados danos causados por insetos xilófagos, maioritariamente no piso da cave, no entanto em menor quantidade.



Figura 27 – Colapso parcial da cobertura (Foto Caçador, 2017)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

A análise dos pavimentos revela um estado de conservação bastante elevado em todos os seus elementos, principalmente no rés-do-chão, onde os efeitos do colapso da cobertura não foram sentidos. No primeiro piso, devido à ação dos elementos, grande parte do pavimento do corredor e caixa de escada encontra-se danificado, apresentando zonas de soalho com degradação acentuada, e algumas vigas com danos leves, no entanto o projeto de arquitetura prevê a demolição e substituição desta zona de pavimento, devido a alterações na caixa de escada, resultando na possibilidade de utilizar as vigas desta zona em ensaios destrutivos.



Figura 28 - Patamar piso um (Foto Caçador, 2017)

Embora tenha sido impossível levantar os soalhos de modo a inspecionar a parte superior do pavimento, as vigas dos dois pavimentos principais não possuem qualquer tipo de dano visível, aparentando possuir grandes níveis de conservação devido aos tratamentos e corretos métodos de construção a que foram sujeitas, nomeadamente a queima de óleo em toda a envolvente das vigas auxiliado pelo facto das entregas das mesmas se encontrarem devidamente seladas, preveniu o ataque de insetos sobre estes elementos. E pelo facto das vigas de diferentes

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

pavimentos não se encontrarem em contacto no interior das paredes estruturais preveniram o alastramento dos danos, provocados por humidade, presentes nos elementos da caixa de escada.



Figura 29 - Pavimento rés-do-chão (Foto Caçador, 2017)

6.2. Ensaios Não Destrutivos

Tendo como objetivo avaliar o estado de conservação dos elementos estruturais dos pavimentos em estudo, serão realizados ensaios não destrutivos, recorrendo à utilização do Resistograph. A execução deste ensaio é de especial interesse devido à possibilidade dos elementos em estudo se encontrarem degradados devido ao ataque de insetos.

6.2.1. Resistograph

Os ensaios com Resistograph foram realizados com o auxílio do Laboratório de Ciências Florestais da Escola Ciências da Vida, com o objetivo de detetar

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

defeitos não visíveis, como a existência de nós e fendas, variações de densidade ao longo das secções e sobretudo zonas de degradação biológica.

Devido à inexistência de um procedimento regulamentado de ensaios com Resistograph, estes ensaios foram realizados em vigas escolhidas de forma a confirmar o estado de conservação observado através da inspeção visual.



Figura 30 - Realização de um ensaio com Resistograph (Foto Caçador, 2017)

Foram selecionadas três vigas em cada pavimento, uma em cada extremo, e uma no centro. Foram ainda realizados três ensaios por elemento, um próximo de cada apoio e a meio vão. Estas localizações foram selecionadas devido ao método de propagação da degradação observada na habitação. O ataque de insetos sociais é regularmente iniciado pelos topos dos elementos, necessitando de continuidade entre elementos, criando caminhos desde o solo através dos pilares ou acabamentos podendo alcançar as vigas por qualquer extremo. O ataque por insetos xilófagos pode ser iniciado em qualquer zona.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

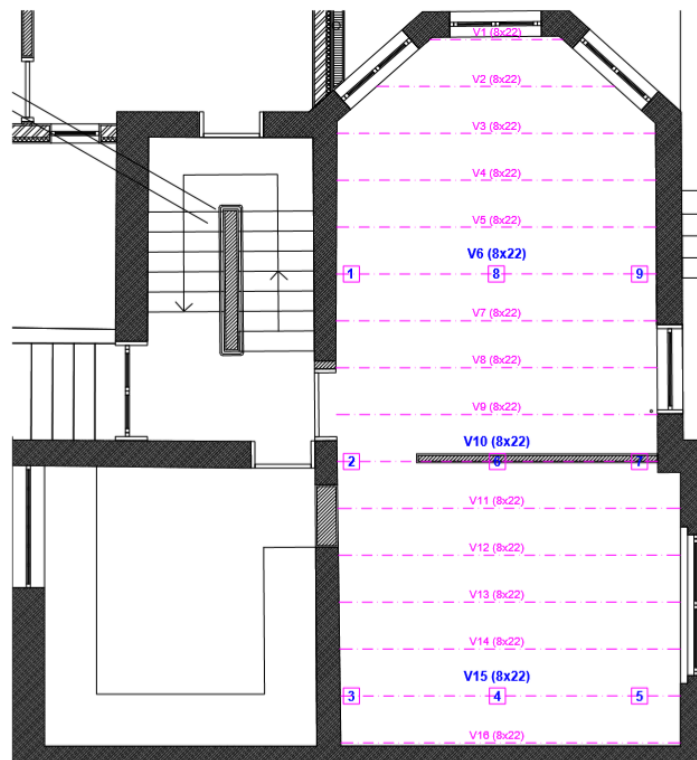
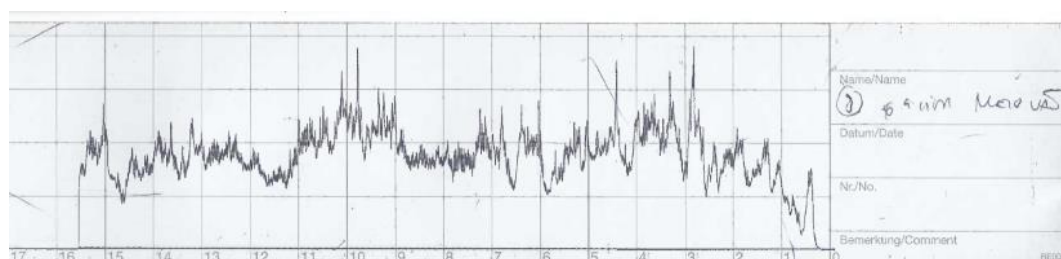
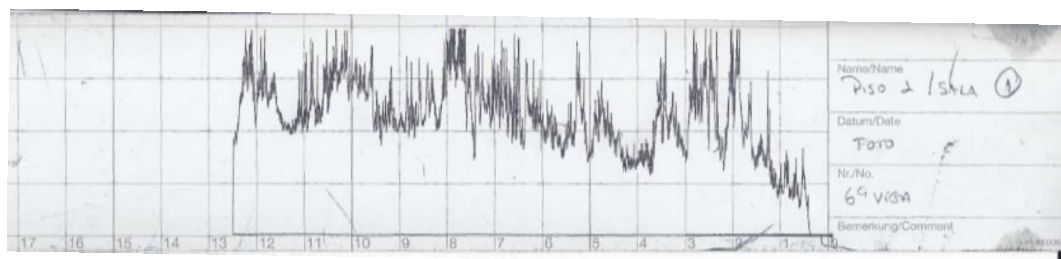


Figura 31 - Mapa de ensaios pavimento piso um

A Figura (32) refere-se ao estudo da viga número 6 do pavimento do piso 1. Como é possível verificar a viga encontra-se em excelente estado de conservação.



Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

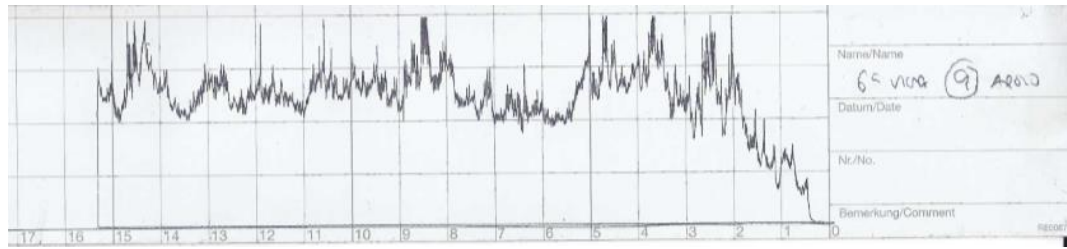


Figura 32 - Resultados Resistograph viga 6 pavimento piso um

A Figura (33) refere-se ao estudo da viga número 10 do pavimento do piso 1. À semelhança da viga número 6, esta encontra-se em excelente estado de conservação.

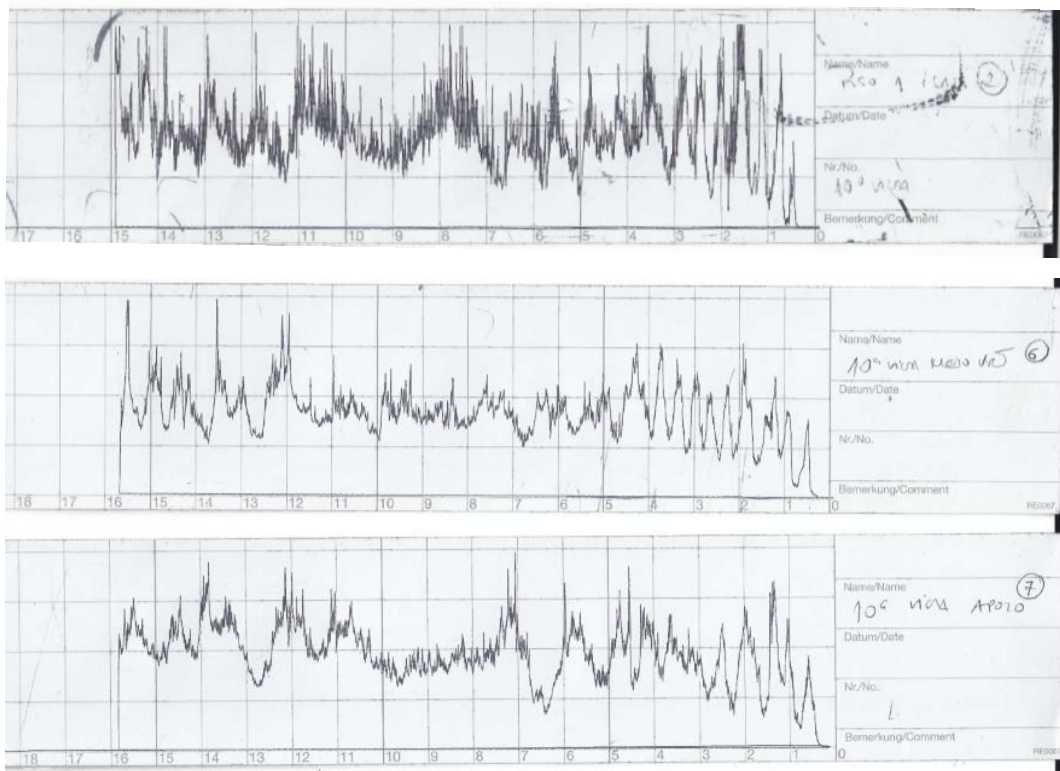


Figura 33 - Resultados Resistograph viga 10 pavimento piso um

A Figura (34) refere-se ao estudo da viga número 15 do pavimento do piso 1. O gráfico resultante revela uma degradação considerável, especialmente no apoio esquerdo e a meio vão, onde os resultados se aproximam do zero, ou seja, praticamente nenhuma capacidade nestas zonas.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

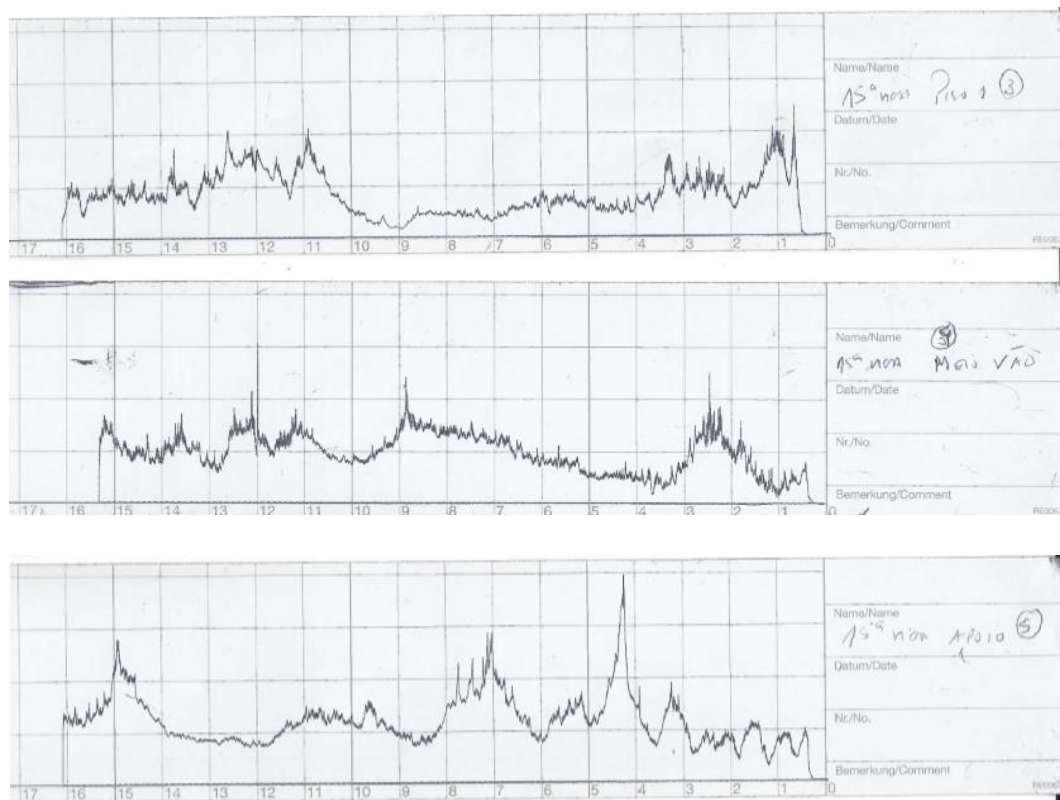


Figura 34 - Resultados Resistograph viga 15 pavimento piso um

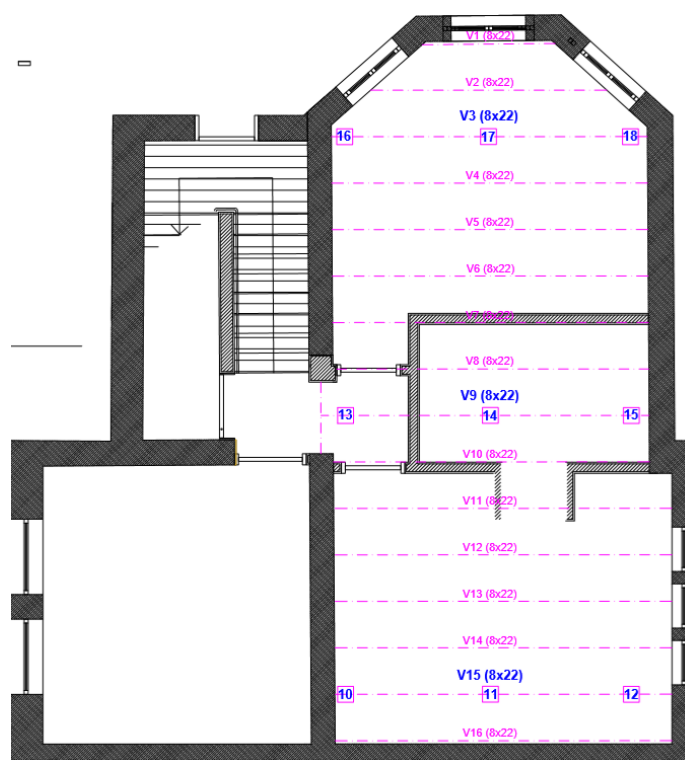


Figura 35 - Mapa ensaios pavimento rés-do-chão

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

A Figura (36) refere-se ao estudo da viga número 3 do pavimento do rés-do-chão. Próximo do apoio direito a viga encontra-se danificada na parte superior. No vão central o seu estado de conservação é bastante bom, no entanto apresenta alguma degradação superficial significativa na parte superior. Junto ao apoio esquerdo a parte superior da viga encontra-se completamente degrada e sem qualquer capacidade resistente, provavelmente devido a ataques de insetos xilófagos.

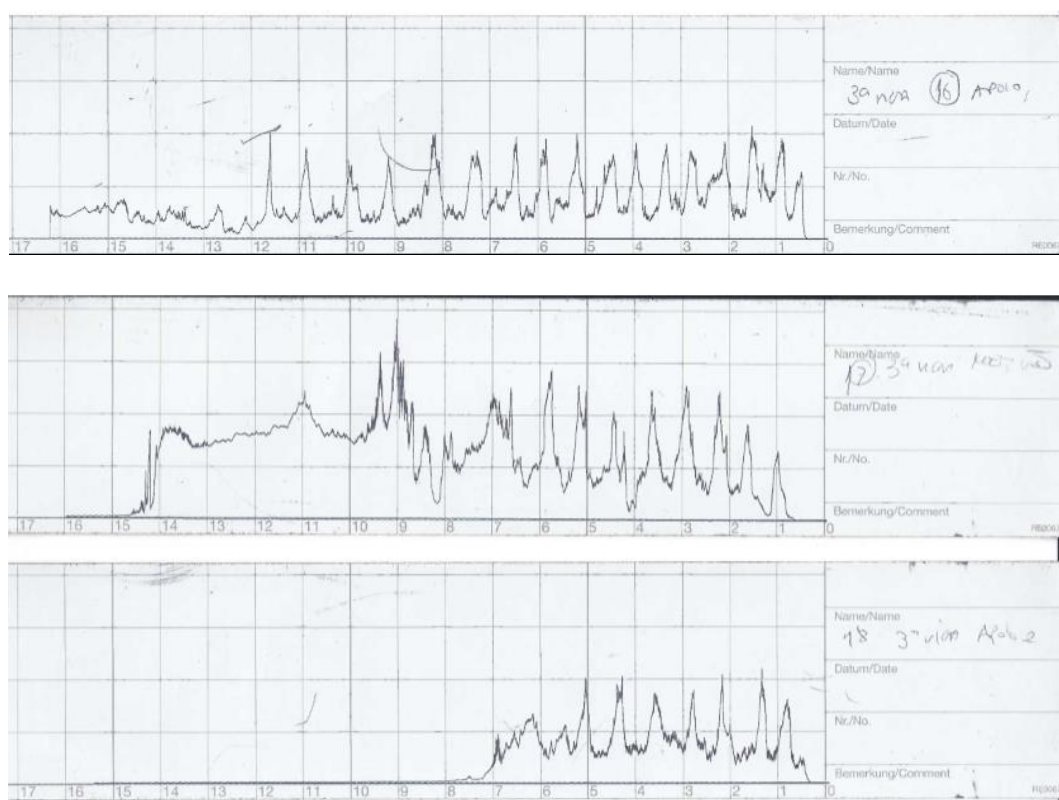


Figura 36 - Resultados Resistograph viga 3 pavimento rés-do-chão

A Figura (37) refere-se ao estudo da viga número 9 do pavimento do rés-do-chão. Esta partilha resultados semelhantes aos obtidos no estudo da viga número 15 do piso 1, sendo perceptível uma capacidade resistente constante, no entanto baixa, assim como a presença de um nó localizado no centímetro 14 no estudo a meio vão.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

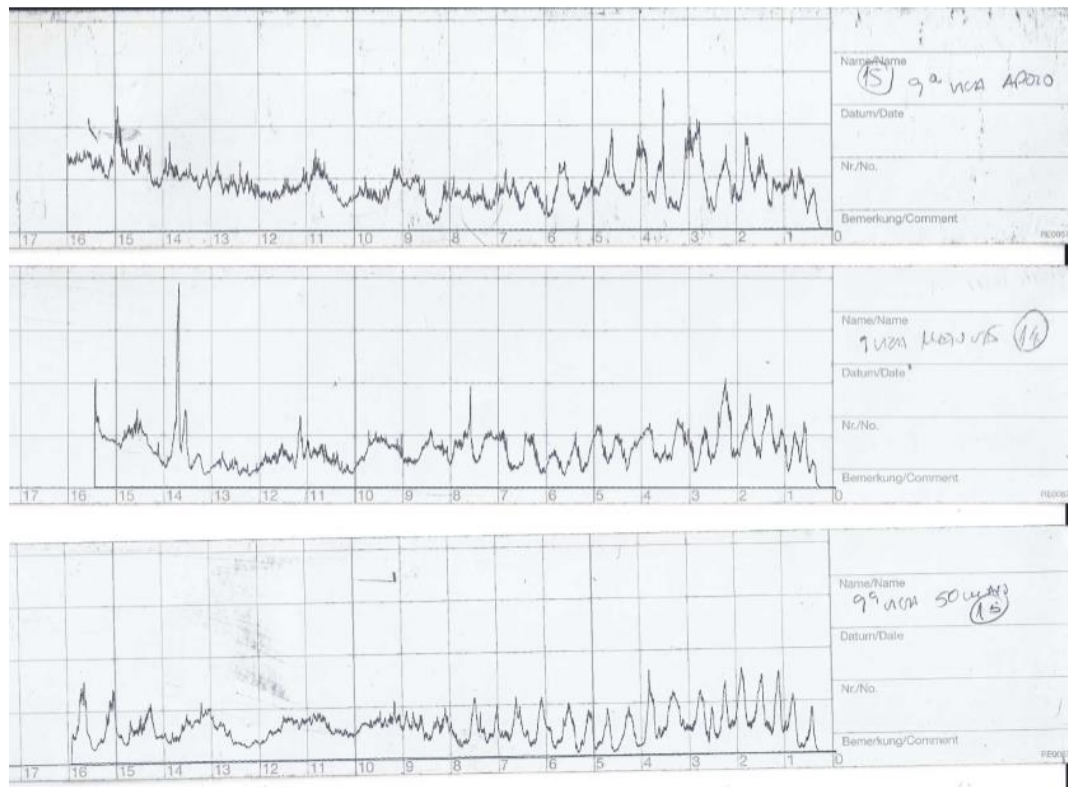


Figura 37 - Resultados Resistograph viga 9 pavimento rés-do-chão

A Figura (38) refere-se ao estudo da viga número 15 do pavimento do rés-do-chão. Esta apresenta resultados muito semelhantes aos obtidos no estudo da viga número 10 do piso 1, encontrando-se num estado de conservação bastante bom.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

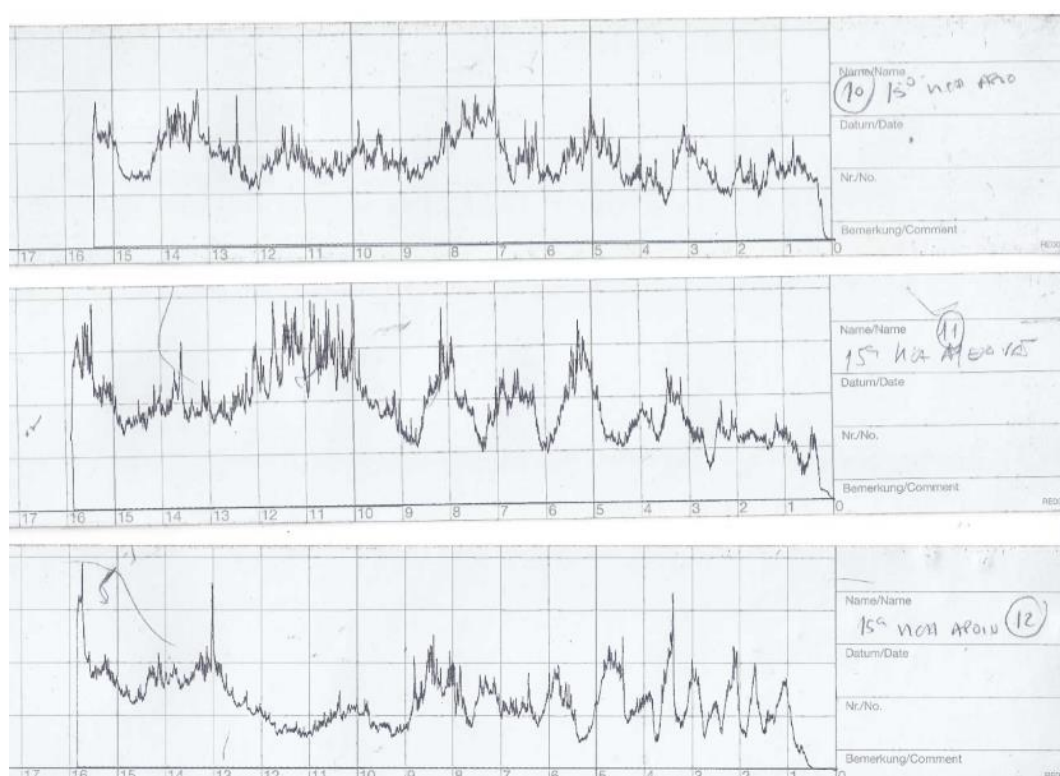


Figura 38 - Resultados Resistograph viga 15 pavimento rés-do-chão

6.3. Ensaaios Destrutivos

Recorrendo aos laboratórios de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica da Escola de Ciências e tecnologia, assim como ao Laboratório de Ciências Florestais da Escola Ciências da Vida, foram realizados ensaios mecânicos sobre provetes de madeira pequenos e isentos de defeitos, e em provetes de tamanho real, retirados dos pavimentos em estudo. Estes ensaios foram executados de modo a determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

6.3.1. Ensaios em Provetes Pequenos Isentos de Defeitos

Os provetes necessários para a execução destes ensaios foram retirados de vigas que compõem o pavimento do patamar de piso rés-do-chão, que devido à remodelação da caixa de escada será retirado da habitação, evitando a desta a

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

inutilização de elementos pertencentes aos pavimentos em estudo. Devido ao ataque por insetos já referido, todos os elementos encontram-se em vários níveis de degradação tornando-se difícil a obtenção de provetes completamente isentos de defeitos. Como tal todos os provetes ensaiados possuem defeitos como observável na figura 39.



Figura 39 - Provetes para ensaio à compressão axial (Foto Caçador, 2017)

Ensaaios de tração axial, e, compressão axial (NP618, 1973), foram excetuados, tendo sido avaliada a tensão de rotura à tração e compressão na direção do fio, o módulo de elasticidade em tração e compressão, bem como, o coeficiente de Poisson.

Os ensaios mecânicos foram executados numa máquina servo-hidráulica de ensaios mecânicos INSTRON 8801 com recurso a diversos acessórios, de acordo com o tipo de ensaio, apoiado com o sistema de correlação de imagem (CDI) com vista à obtenção do coeficiente de Poisson, ν , e do módulo de elasticidade, E . A força aplicada foi medida através de uma célula de carga de 100 kN.

Todos os provetes foram inicialmente submetidos a dez ciclos de carga e descarga, no domínio linear e à velocidade de 0.5 mm/min, para eliminação de folgas no sistema de amarração.

6.3.1.1. Correlação Digital de Imagem (CDI)

A CDI é uma técnica ótica de campo em que os deslocamentos em pontos discretos são fornecidos pela correlação em diferentes configurações mecânicas. A deformação do material é avaliada por meio da deformação de um padrão texturado, assumido perfeitamente ligado à superfície do objeto. O recurso a esta técnica tem vindo a desenvolver-se nas últimas décadas, e está gradualmente a tornar-se numa ferramenta mecânica experimental. A resolução espacial e a precisão da técnica podem ser ajustadas pelos componentes óticos utilizados na formação da imagem e das janelas de correlação. À escala macro, a superfície natural não fornece um padrão speckle necessário para as medidas CDI. Um padrão foi pintado sobre uma região de interesse situado na zona média dos provetes, por meio de um aerógrafo (Fig. 38), para garantir o tamanho, o contraste e a isotropia adequados na escala de observação (Sutton, 2009).



Figura 40 - Tintas usadas para criar um padrão speckle (Foto Caçador, 2017)

O software a que se recorre para tratamento de dados foi o MatchID. Uma câmara digital acoplada (CCD) com uma lente telecêntrica foi usada para a obtenção das imagens.

De acordo com o tamanho típico do padrão pintado, a sequência de imagens da deformação ao longo de um ensaio foi adquirida à frequência de 1Hz, em sincronia com a força aplicada ao provete. O sistema ótico empregue na aquisição

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

das imagens inclui uma câmara Manta G-505 acoplada a uma lente telecêntrica TC 23 36. As características da CCD e da lente a que se recorre podem ser identificadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos componentes óticos utilizados na CDI

<i>CDC</i>	
Modelo	Manta G-505
Resolução	2452 x 2056 pixels
Tamanho da célula (μm x μm)	3.45 x 3.45
ADC (bit)	14
Montagem da lente	C-Mount
Frequência de aquisição (Hz)	1
<i>Lentes</i>	
Modelo	Opto Engineering Telecentric lens TC 23 36
Ampliação (%)	0,243 +/- 3%
Campo de visão (2/3") (mm x mm)	36,2 x 27,1
Distancia (mm)	103,5 +/- 3
F-number	8
Campo de profundidade (mm)	11
Distorção (%)	< 0,10
Comprimento (mm)	164.9
Diametro externo (mm)	61,0
Peso (g)	520
Iluminação	Lighting Raylux 25 white-light LED

6.3.2. Ensaios de Compressão Axial

O ensaio de compressão axial deve ser realizado no mínimo de 6 provetes, de modo a obter uma amostra significativa de resultados. Segundo a norma NP 618 a execução do ensaio consiste na transmissão de uma carga ao provete, que deve estar centrado no prato inferior da máquina e com eixo vertical, fazendo-se descer o prato superior até contactar com o provete. A força é aplicada progressivamente

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

de forma constante até ser atingida a rotura do provete, sendo a força máxima a força de rotura (NP618, 1973).



Figura 41 - Medição das dimensões do Provete C7 (Foto Caçador, 2017)

Um total de 10 provetes foram testados com o objetivo de obter as curvas tensão versus extensão para cada provete. O provete C1 foi ensaiado a uma velocidade imposta de 5mm/min. Os restantes provetes foram ensaiados a uma velocidade imposta de 1mm/min. Na Tabela 3 estão apresentadas as dimensões da secção transversal de cada provete, bem como, a velocidade de ensaio.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 42 - Ensaio de compressão axial (Foto Caçador, 2017)

Tabela 3 - Dimensões dos provetes usados nos ensaios de compressão axial.

Designação Proвете	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	v (mm/min)
C1	19.52	19.58	382.20	5
C2	19.63	19.48	382.39	1
C3	19.59	19.48	381.61	1
C4	19.49	19.75	384.93	1
C5	19.54	19.51	381.23	1
C6	19.47	19.58	381.22	1
C7	19.41	19.35	375.58	1
C8	19.45	19.47	378.69	1
C9	19.55	19.38	378.88	1
C10	19.45	19.46	378.50	1

Nas Figura 43 estão apresentadas as estimativas efetuadas para os coeficientes de Poisson e módulo de elasticidade na direção paralela ao fio com base nos resultados dos ensaios de compressão axial, para o provete C1. Encontrando-se os resultados dos restantes provetes no Anexo 1.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

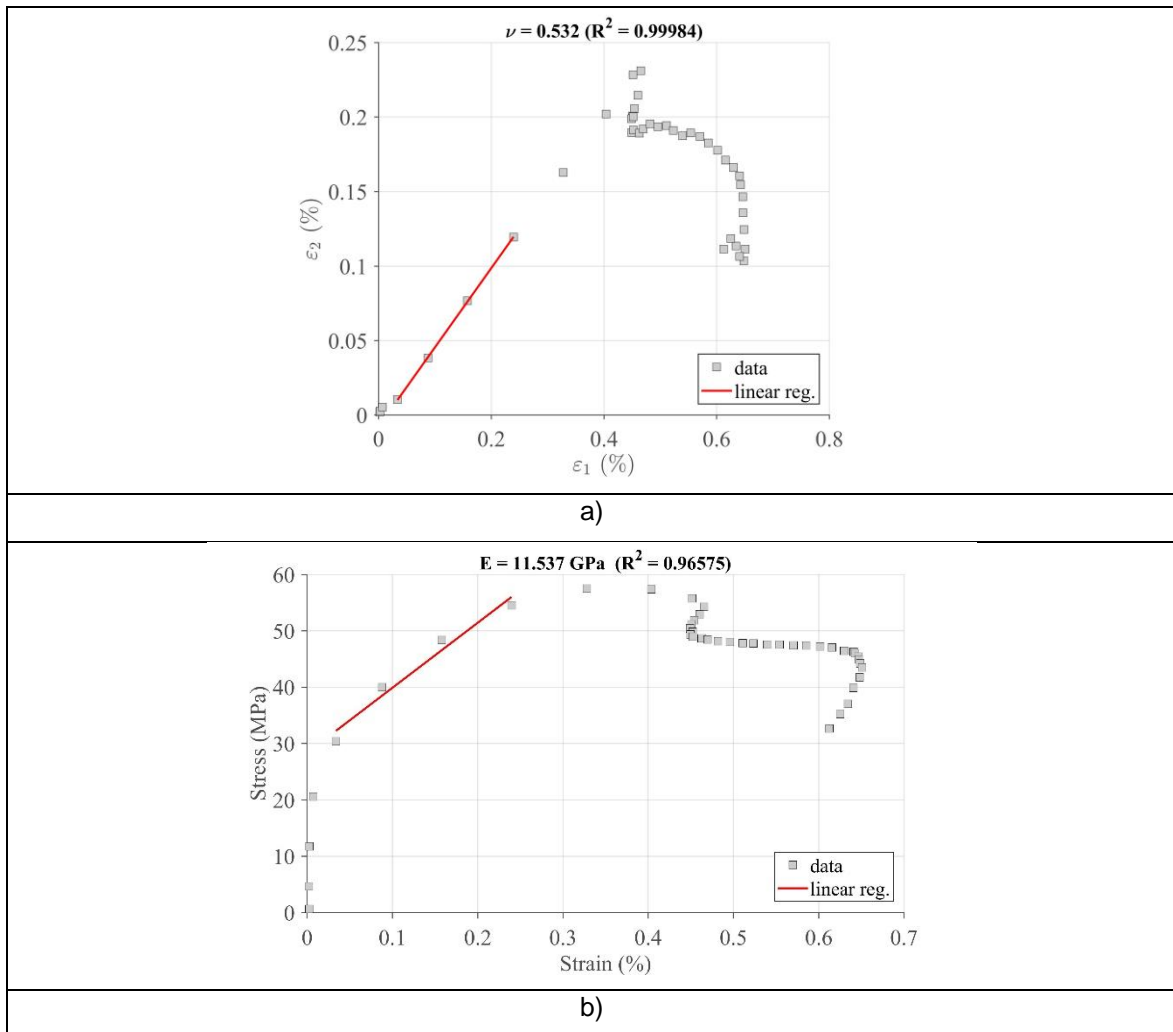


Figura 43 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C1: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Na Figura 44 são apresentadas as curvas tensão-extensão para todos os provetes considerados para análise, obtidas com base nos ensaios de compressão paralela às fibras.

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da tensão de rotura, coeficiente de Poisson, e módulo de elasticidade, obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras, para cada provete testado, bem como, o seu valor médio e o desvio-padrão.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

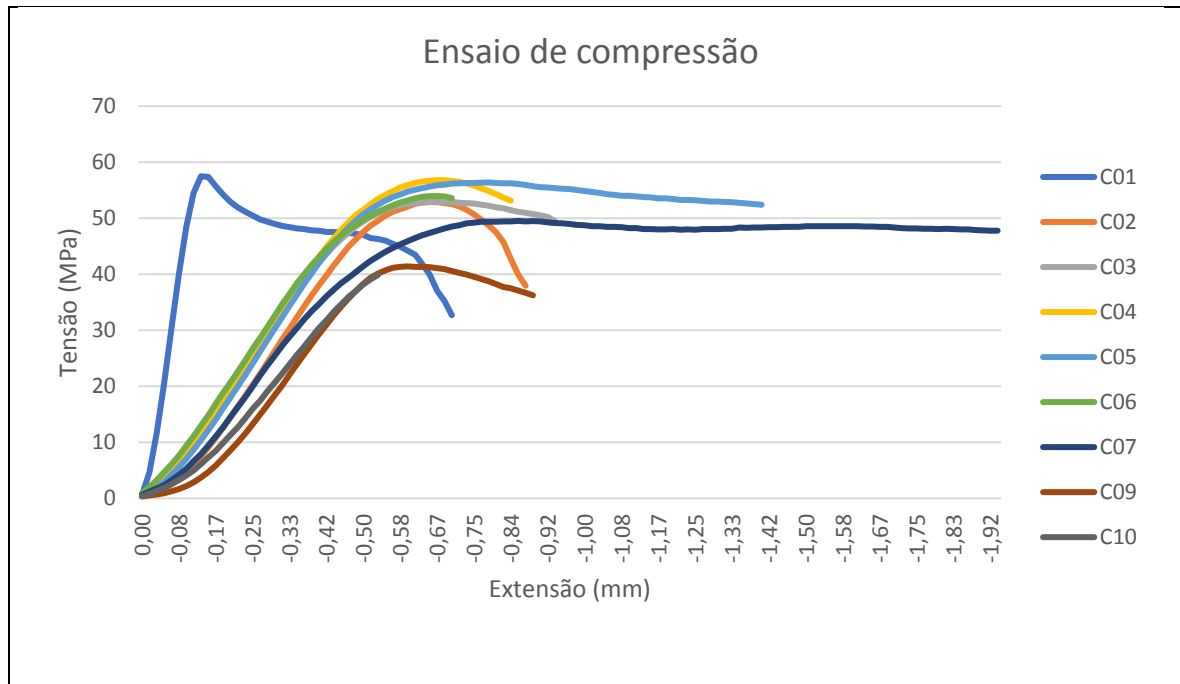


Figura 44 - Curvas tensão versus extensões resultantes dos ensaios de compressão paralela às fibras.

Tabela 4 - Propriedades mecânicas e elásticas dos provetes testados à Compressão

Designação Proвете	E (GPa)	ν (-)	σ_u (MPa)
C1	11.54	0.532	57.49
C2	14.41	0.566	52.89
C3	14.05	0.750	52.93
C4	15.29	0.550	56.79
C5	14.11	0.681	56.38
C6	14.76	0.596	53.96
C7	12.20	0.534	49.52
C8	14.50	0.587	51.99
C9	12.13	0.601	41.40
C10	10.59	0.522	39.88
Média	13.358	0.5919	51.323
Desvio-Padrão	1.516	0.0688	5.819

6.3.3. Ensaio de Tração Axial

Os ensaios de tração axial devem ser realizados com um mínimo de 6 provetes, de modo a obter uma amostra significativa de resultados. A resistência à

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

tração paralela às fibras foi avaliada por meio de ensaios de tração em prismas retangulares de dimensões (5x20x200) milímetros. Na preparação dos provetes de tração, foram coladas nas extremidades, na zona de aperto das amarras de tração, “bolachas” de madeira de Cambala, com 55 mm de comprimento e 2 mm de espessura, com recurso a cola branca.



Figura 45 - Ensaio de tração axial (Foto Caçador, 2017)

Um total de 6 provetes foram ensaiados e as suas dimensões estão apresentadas na Tabela 5. O Provete T1 foi considerado não válido para o estudo, pelo facto de ter ocorrido um *overload* durante o ensaio.

Depois de fixo o provete, executou-se o respetivo ensaio com uma velocidade de travessão de 2mm/min, até se atingir a rotura.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 46 - Provetes ensaiados à tração axial (Foto Caçador, 2017)

Tabela 5 - Dimensões dos provetes usados nos ensaios de Tração.

Designação Provetes	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	v (mm/min)
T1	4.81	19.43	93.46	2
T2	4.86	19.50	94.77	2
T3	4.83	19.54	94.38	2
T4	4.85	19.27	93.46	2
T5	4.85	19.52	94.67	2
T6	4.86	19.55	95.01	2

Nas Figura 47 estão apresentados as estimativas efetuadas para os coeficiente de Poisson e módulo de elasticidade na direção paralela ao fio com base

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

nos resultados dos ensaios de tração axial para o provete T2. Encontrando-se os resultados dos restantes provetes no Anexo 2.

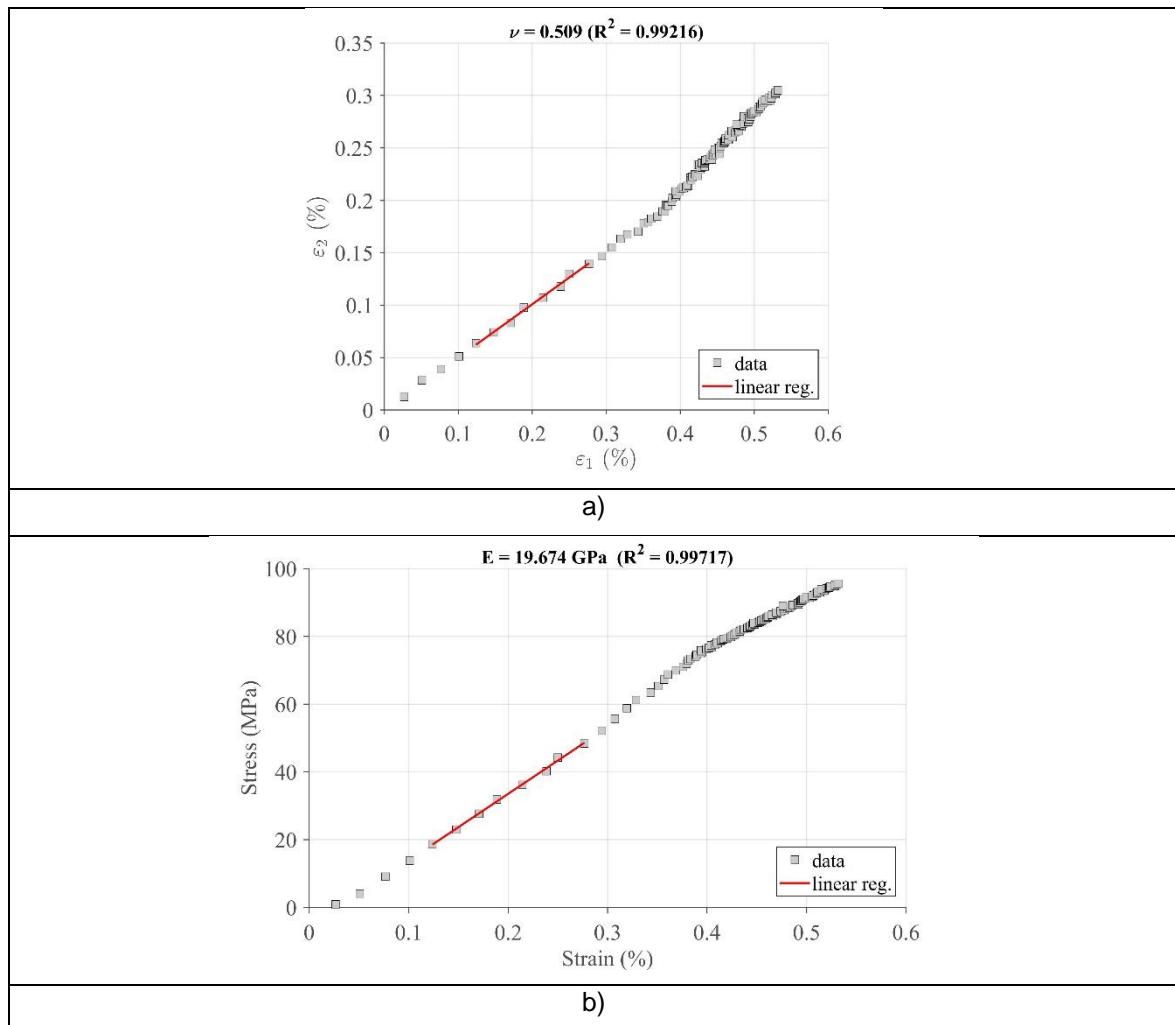


Figura 47 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T2: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Na Figura 48 são apresentadas as curvas tensão-extensão para todos os provetes considerados para análise, obtidas com base nos ensaios de tracção paralela às fibras.

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da tensão de rotura, coeficiente de Poisson, e módulo de elasticidade, obtidos no ensaio de tração paralela às fibras, para cada provete testado, bem como, o seu valor médio e o desvio-padrão.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

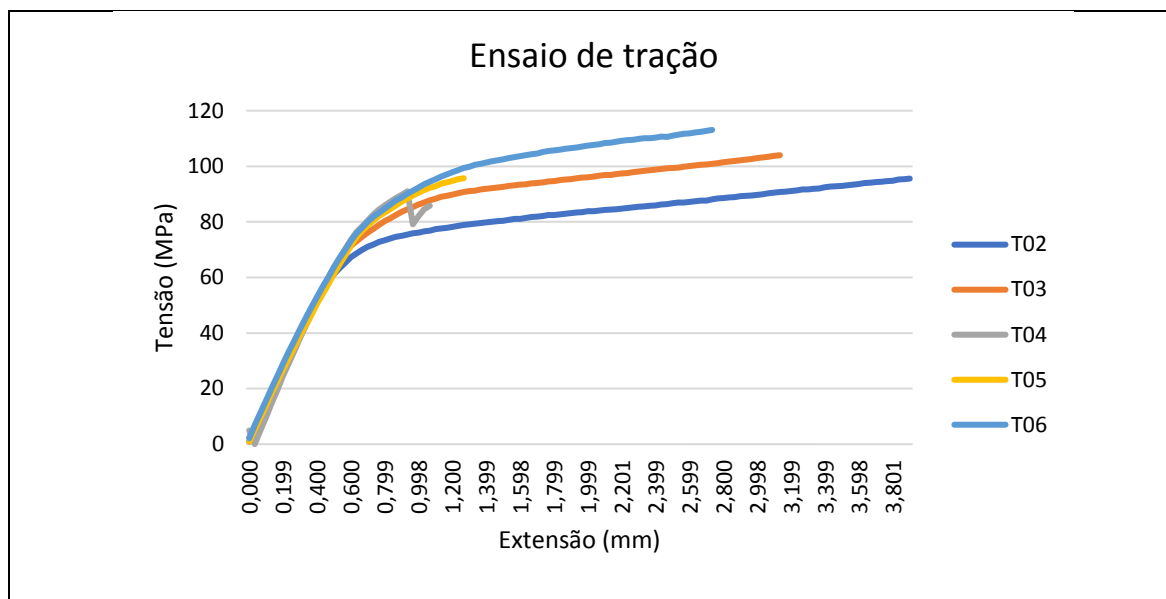


Figura 48 - Curvas tensão versus extensões resultantes dos ensaios de tração paralela às fibras.

Tabela 6 - Propriedades mecânicas e elásticas dos provetes testados à tração axial

Designação Proвете	E (GPa)	ν (-)	σ_u (MPa)
T1	---	---	---
T2	19.67	0.509	95.58
T3	18.73	0.640	103.98
T4	19.35	0.593	90.99
T5	16.34	0.503	95.72
T6	18.51	0.428	113.09
Média	18.520	0.5346	99.872
Desvio-Padrão	1.167	0.0742	7.825

6.3.4. Ensaios em Elementos de Vigas de *Pinus Pinaster*

Estes ensaios foram realizados de acordo com as normas EN408 e EN 384, sendo avaliada a tensão de rotura à flexão e módulo de elasticidade na direção do fio.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga pontual a meio da viga, esta é apoiada nas suas extremidades em roletes, de forma a permitir a rotação no plano

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

de ensaio. A carga pontual é aplicada com por um atuador hidráulico, também com roletes de forma impedir o corte ou esmagamento da viga.

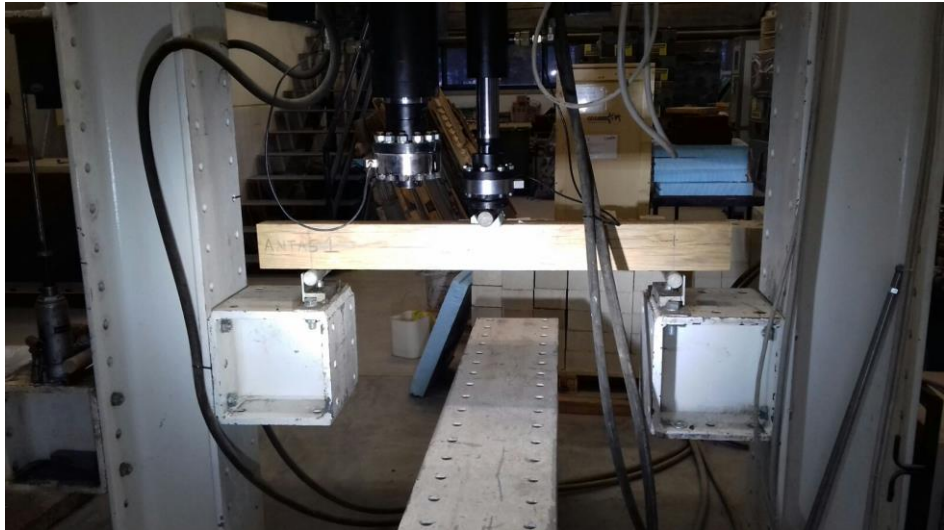


Figura 49 - Ensaio Viga Antas 1 (Foto Caçador, 2017)

Os elementos ensaiados, à semelhança dos provetes isentos de defeitos, foram lixados e pintados de modo a criar um padrão speckle. Devido ao contraste criado é facilmente observável o aparecimento e desenvolvimento das fendas causadas pelo ensaio.



Figura 50 - Lixação do Elemento Antas 1 (Foto Caçador, 2017)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Figura 51 - Criação de um padrão speckle (Foto Caçador, 2017)

Como já referido, a presença de defeitos e o estado de conservação das peças de madeira têm elevada influência no seu comportamento. O elemento, denominado - Antas 1, pertencia a uma viga da cobertura na zona de casa de banho, encontra-se ligeiramente degradada pelo ataque de insetos xilófagos e apresentando poucos defeitos naturais da madeira, como observável na Figura 52.



Figura 52 - Estado de conservação do elemento Antas 1 (Foto Caçador, 2017)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

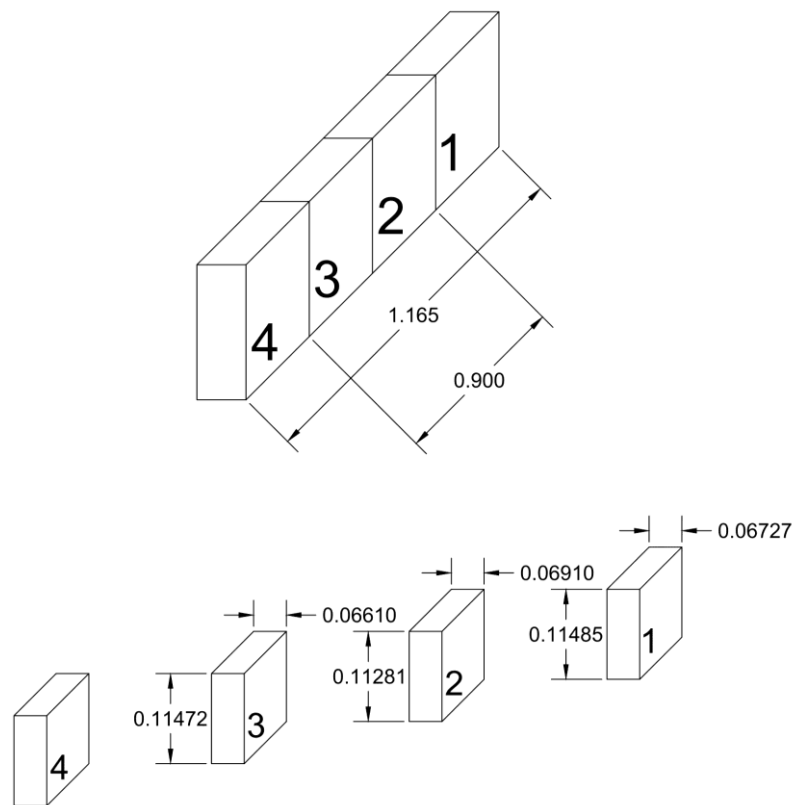


Figura 53 - Dimensões do elemento Antas 1

Tabela 7 - Dimensões do elemento Antas 1

Secção	a (mm)	b (mm)	Área (mm ²)
1	67.27	114.85	7725.96
2	69.1	112.81	7795.17
3	66.1	114.22	7549.94
Média	-	-	7690.36
Desvio-Padrão	-	-	103.232

Através da análise do gráfico tensão deslocamento, Figura 54, verifica-se um comportamento elástico até à primeira rotura, dada para uma tensão 36MPa e para uma deformação de 16mm, tendo a tensão descido para os 28MPa. Com o novo aumento de tensão a viga apresenta um pequeno patamar plástico até aos 18mm, onde se dá a rotura total do elemento.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

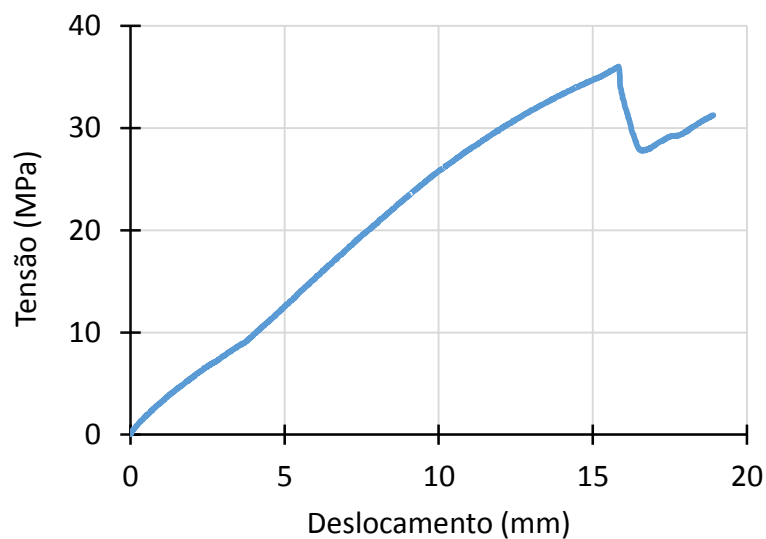


Figura 54 – Gráfico: tensão deslocamento do ensaio da viga Antas 1

O valor de módulo de elasticidade global obtido foi de 4.7GPa. o valor de tensão de rotura à flexão foi igual a 36MPa. Através da aplicação das equações indicadas pela norma EN338 foi possível obter os resultados presentes na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores das propriedades mecânicas obtidos

	Antas 1
Flexão estática (N/mm ²)	36
Tração paralela às fibras (N/mm ²)	21,6
Tração perpendicular às fibras (N/mm ²)	0,4
Compressão paralela às fibras (N/mm ²)	25,07876
Compressão perpendicular às fibras (N/mm ²)	-
Corte (N/mm ²)	-
Módulo de elasticidade (kN/mm ²)	
Paralelo às fibras	
(valor medio)	4,7
(valor característico)	3,149
Perpendicular às fibras	0,156667
Módulo de distorção (kN/mm ²)	0,29375

6.4. Discussão de Resultados

A campanha de ensaios realizada nos pavimentos do edifício em estudo procura determinar o estado de conservação e estimar as características mecânicas destes. Tendo em conta que o projeto de reabilitação prevê a demolição parcial da habitação, surgiu a oportunidade de realizar ensaios destrutivos em provetes de pequenas dimensões e de tamanho real que de outra forma não seriam executados, pois estes impossibilitam a preservação dos pavimentos.

Através do Resistograph foi possível determinar o estado de conservação das vigas dos pavimentos, detetando zonas de degradação biológica, fendas e vazios não perceptíveis na inspeção visual, assim como variações de densidade. Foi concluído que a degradação de algumas vigas, em especial as vigas 3, 9 e 15, se deve ao facto de a queima de óleo em torno destas ter sido incorreta, apresentando falhas permitindo o ataque por agentes biológicos. Foi também determinado que, de forma geral, as restantes vigas se encontram em bom estado de conservação.

A realização de ensaio mecânicos em provetes pequenos e isentos de defeitos teve o objetivo de determinar a tensão de rotura à compressão e à tração assim como os seus módulos de elasticidade nestes sentidos. Os provetes ensaiados possuíam alguma degradação, proveniente do ataque biológico, pois as vigas das quais foram retirados encontravam-se danificados. As curvas de tensão deslocamento obtidas apresentaram um comportamento linear elástico até à rotura, que se deram maioritariamente a meio vão, tendo sido obtidos os resultados médios de 13.36GPa e 18.52GPa módulos de elasticidade e de 51.32MPa e 99.87MPa tensões de cedência, para os ensaios de compressão e tração respetivamente.

Segundo os valores obtidos nos ensaios de compressão os elementos em estudo são comparáveis com o intervalo de referência do castanho, que se encontra entre 40MPa e 50MPa, para estes ensaios. Sendo o castanho, tipicamente, uma madeira de classe de resistência D24 (Branco, 2001).

O ensaio realizado no elemento pertencente a uma viga bastante degradada da habitação permitiu relacionar os valores obtidos com os valores característicos

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

de elementos novos de madeira de pinho segundo a ficha do LNEC M2 de 1997. No entanto a utilização dos valores obtidos para cálculo estrutural deve ser adotada com algumas reservas, uma vez que o estudado de apenas um elemento não permite a obtenção de valores demonstrativos, para tal seria necessário um elevado número de amostras.

Tabela 9 - Comparação das propriedades mecânicas do Pinho

	Antas 1	Pinho EE	Pinho E
Flexão estática (N/mm ²)	36,00	35,00	18,00
Tração paralela às fibras (N/mm ²)	21,60	21,00	10,80
Tração perpendicular às fibras (N/mm ²)	0,40	0,49	0,46
Compressão paralela às fibras (N/mm ²)	25,08	24,70	18,00
Compressão perpendicular às fibras (N/mm ²)	-	7,30	6,90
Corte (N/mm ²)	-	3,40	2,00
Módulo de elasticidade (kN/mm ²)			
Paralelo às fibras			
(valor medio)	4,70	14,00	12,00
(valor característico)	3,15	9,38	8,00
Perpendicular às fibras	0,16	0,46	0,40
Módulo de distorção (kN/mm ²)	0,29	0,87	0,75

7. Conclusão

7.1. Principais Resultados Obtidos

No presente capítulo são resumidos os principais resultados da investigação realizada e as conclusões retiradas ao longo da realização desta dissertação. Sendo ainda apresentados alguns temas de investigação futura que resultaram da investigação realizada no desenvolvimento deste trabalho.

Esta dissertação pretendeu definir uma metodologia de intervenção em pavimentos antigos de madeira, encontrando formas expeditas de apoiar a decisão da intervenção. Foram apresentadas as vantagens da reabilitação e manutenção dos edifícios antigos em especial dos seus pavimentos. Apresentou-se uma breve contextualização história da madeira nas construções portuguesas, assim como descrição dos elementos constituintes dos pavimentos de madeira. Foi ainda realizado um estudo da madeira como material de construção, especialmente o seu comportamento como material estrutural, evidenciando as suas vantagens, assim como as suas principais limitações. Foram também descritos os principais danos e defeitos da madeira, de forma a compreender os seus problemas mais comuns.

Foram ainda mencionadas as fases de inspeção e diagnóstico em estruturas de madeira, procurando encontrar formas simples e expeditas de apoiar a decisão de intervenção. Referiram-se alguns procedimentos e equipamentos mais utilizados, como a inspeção visual, a recolha de informação assim como alguns ensaios não destrutivos e destrutivos que permitem determinar o estado de conservação e as características físicas e mecânicas da madeira.

Os estudos realizados aos pavimentos de uma habitação localizada na cidade do porto, teve em vista a avaliação do seu estado de conservação e capacidades físicas e mecânicas de forma a auxiliar no projeto de reabilitação da mesma. O processo de estudo utilizado neste edifício passou pela recolha de informações disponíveis, nomeadamente, o levantamento arquitetónico e o projeto prévio de reabilitação, criando uma base de trabalho. A inspeção visual da

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

habitação revelou várias patologias, que embora não localizadas nos pavimentos em estudo, poderiam influenciar os mesmos. No sentido de obter mais informações sobre os pavimentos foi realizada uma campanha de ensaios não destrutivos e destrutivos.

A utilização do Resistograph permitiu avaliar o estado de conservação dos pavimentos de forma simples e pouco intrusiva, evitando danificar os pavimentos em estudo e proporcionando informação qualitativa de elevado interesse. Os resultados destes ensaios revelaram a presença de degradação no interior de alguns elementos não perceptível na inspeção visual.

Devido à demolição parcial da habitação foi possível realizar ensaios destrutivos, em provetes de pequenas dimensões e de tamanho real, sem pôr em causa a integridade estrutural dos pavimentos em estudo. Os resultados destes ensaios permitiram determinar as capacidades físicas e mecânicas dos pavimentos fornecendo informação quantitativa de grande interesse para a elaboração do projeto de reabilitação. Os valores obtidos levam a concluir que os elementos em estudo apresentam a capacidade resistente semelhante à de um pinho de classe EE, no entanto o seu módulo de elasticidade sofreu uma redução. Refere-se ainda que o ensaio realizado sobre o elemento que compunha uma viga degrada confirma a elevada influência que esta tem na capacidade resistente da peça e especialmente no seu módulo de elasticidade. E ainda que, como alguns estudos sugerem, a madeira com a idade tem tendência a aumentar a sua rigidez superficial, consequentemente aumentar a sua resistência mecânica e perdendo flexibilidade. A junção destes fatores ajuda a justificar a capacidade resistente obtida e a redução considerável do módulo de elasticidade observada nas peças em estudo, quando comparada com um Pinho novo de classe EE.

7.2. Propostas de Desenvolvimentos Futuros

Na sequência do trabalho experimental e de pesquisa bibliográfica desenvolvidos no âmbito desta dissertação, surgiram algumas linhas de investigação de interesse, não tendo sido possível desenvolvê-las.

Estudos experimentais acerca do comportamento dinâmico dos pavimentos de madeira, procurando fornecer informações sobre as características mecânicas do pavimento e revelando a necessidade de reabilitar ou substituir elementos.

Estudos específicos sobre equipamentos de ensaio não destrutivos em elementos estruturais de madeira, tais como Ultra-sons, Georradar, Termografia, etc., que possam fornecer informação quantitativa mais rigorosa na avaliação das propriedades mecânicas das estruturas.

Elaboração de um procedimento regulamentar da utilização do Resistograph na determinação do estado de conservação de estruturas de madeira.

Criação de uma correlação entre os valores obtidos em ensaios em provetes pequenos e isentos de defeitos com as classes de resistência EN 338.

Caracterização experimental de reforços locais tradicionais de vigas de madeira, nomeadamente com a utilização de elementos de madeira e de aço. Assim como de reforços globais de pavimentos de madeira, particularmente na sua ligação à parede, favorecendo o reforço sísmico do edifício.

Estudo de formas de adequar os pavimentos às infraestruturas correntes, rede de abastecimento e drenagem de águas, entre outras. Assim como formas de melhorar o conforto não estrutural, como segurança contra incêndios.

8. Referências Bibliográficas

Alvarez, R. A., Martitegui, F. A., Calleja, J. J. M. (2000). "Estructuras de Madera. Diseño e Cálculo" AITIM, Madrid.

Appleton, J. (2003). "Reabilitação de Edifícios Antigos - Patologias e tecnologias de intervenção." Edições Orion, Amadora.

Arriaga, F. (2002). "Intervencion en estructuras de madera." AITIM, Madrid.

Bertolini, C., Brunetti, M., Cavallaro, P., Macchioni, N. (1998). "A non destructive diagnostic method on ancient timber structures: some practical application examples." Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, Montreaux, Switzerland.

Bianco, A. (2017). "On Site Diagnostics for Architectural Conservation and Restoration" Hamburgo.

Botelho, J. (2006). "Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos." Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. Porto: FEUP.

Branco, J. (2001). Texto de apoio à disciplina de Estruturas de Madeira, Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.

Branco, J., Cruz, P. (2004). "Ligações Mistas Madeira-Betão Leve." CIMAD 04. 1º Congresso Ibérico. A madeira na construção, Guimarães.

Branco, J., Cruz, P., Lucas, S. (2004). "Avaliação do comportamento de vigas antigas de pavimento a reutilizar no Museu da Indústria de Chapelaria." CIMAD 04. 1º Congresso Ibérico. A madeira na construção, Guimarães.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Branco, J.P. (1993). "Obras de Madeira em Tosco e Limpo na Construção Civil." EPGE, Queluz.

Cachim, Paulo Barreto. (2007). "Construções em madeira -A madeira como material de construção." Porto: Publindústria, Edições Técnicas.

Carita, H. (1999). "Lisboa Manuelina. A formação de Modelos Urbanísticos da Época Moderna (1495-1521)" Livros Horizontes, Lisboa.

Carvalho, A. (1996). "Madeiras Portuguesas - Estrutura Anatómica, Propriedades." Utilizações. Volume 1 e 2, Direcção Geral de Florestas.

Cóias, V. (2006). "Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios." Lisboa: I.S.T Press.

Costa, A. (2005). "Reabilitação de Estruturas. Apontamentos da disciplina. Mestrado em Reabilitação do Património Edificado (MRPE)" FEUP, Porto.

Costa, A., Guedes, J., Paupério, E., Ilharco, T., Ornelas, C. (2006). "Relatório de Inspeção e Diagnóstico da Casa de Marquês de Pombal nº 44. Futura Sede do Instituto arquitecto José Marques da Silva (IAJMS)" FEUP, Porto.

Costa, F. P. (1955). "Enciclopédia Prática da Construção Civil, F. Pereira da Costa" Portugal Editora, Lisboa.

CRUZ, H. (2001) "Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira". In: Curso livre internacional de património, Santarém.

Dias, Alfredo, et al. (2009). "Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira." Edições Profissionais Sociedade Unipessoal, Lisboa.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Dias, T. e Costa.A. (2013). "Avaliação e Reabilitação de Estruturas de Alvenaria e Madeira." Porto: ISEP|NCREP.

Dias, Tiago Ilharco de Moura Pinho. (2008). "Pavimentos de madeira em edifícios antigos." Diagnóstico e intervenção estrutural, Porto.

EC5. (2004). "Projecto de Estruturas de Madeira. NP ENV 1995-1-1." IPQ, Lisboa.

EN1912. (2003). "Structural Timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species." Office for Official Publications of the European Communities. Brussels, Belgium.

EN338. (2003). "Structural timber -Strength classes" -Office for Official Publications of the European Communities, Brussels.

EN384. (2004). "Structural timber -Determination of characteristic values of mechanical properties and density". Office for Official Publications of the European Communities. Brussels, Belgium.

EN408. (2003). "Structural timber-Strength classes". Office for Official Publications of the European Communities. Brussels, Belgium.

Faria, A. (2002). "Madeira na construção - O futuro promete." "Semana das Engenharias", Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPB, Bragança.

Faria, A. (2002). "Reabilitação de Coberturas em madeira em edifícios históricos." A Intervenção no Património; Práticas de Conservação e Reabilitação, Porto.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Faria, A. (2006). "Apontamentos da disciplina de Reabilitação Estruturas de Madeira, Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. 2ª Edição." FEUP, Porto.

Faria, J. (2002). "European timber buildings as an expression of technological cultures." s.l.: Elsevier Science, Collection Patrimoine.

Feio, A. (2005). "Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour. Tese de Doutoramento," Universidade Minho, Guimarães.

Feio, A., Rebelo, N. (2006, 2007). "Reabilitação de Estruturas de Madeira. Diagnóstico e Inspeção." Engenharia e Vida.

Fitchen, J. (1986). "Building construction before mecharization." s.l.: The Massachusetts Institute of Tecnology.

Freitas, Vasco Peixoto. (2012). "Manual de apoio ao projecto de reabiliação de edifícios antigos." FEUP, Porto.

ICOMOS. (2004). "Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico do ICOMOS", ICOMOS.

LNEC M1 e M2 (1997): "Pinho bravo para estruturas", LNEC, Lisboa.

Lopes, D. e Branco, J. (2002). "Curso de Estruturas de madeira" FEUP, Porto.

Machado, J. S. (2006). "Elementos de madeira em serviço. Quantificação da resistência. Pedra & Cal".

Machado, J. S., Cruz, H., Nunes, L. (2000). "Inspeção de elementos estruturais de madeira. Selecção das técnicas não destrutivas a aplicar in situ"

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

REPAR 2000. Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, Lisboa.

Mateus, T. J. E. (1977). "As características das madeiras nas suas relações com as aplicações LNEC", Lisboa.

Negrão, J. e Amorim, F. (2009). "Projecto de Estruturas de Madeira. Publindustria" Porto.

NP180. (1962). "Anomalias e Defeitos da Madeira." Instituto Português da Qualidade.

NP4305. (1995). "Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual." Instituto Português da Qualidade.

NP614. (1973). "Madeiras. Ensaio do teor em água." Instituto Português da Qualidade.

NP616. (1973). "Madeiras. Ensaio da massa volúmica." Instituto Português da Qualidade.

NP618. (1973). "Madeiras. Ensaio de compressão axial." Instituto Português da Qualidade.

NP619. (1973). "Madeiras. Ensaio de flexão estática." Instituto Português da Qualidade.

NP620. (1973). "Madeiras. Ensaio de flexão dinâmica." Instituto Português da Qualidade.

NP621. (1973). "Madeiras. Ensaio de tracção transversal." Instituto Português da Qualidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

NP622. (1973). "Madeiras. Ensaio de fendimento." Instituto Português da Qualidade.

NP623. (1973). "Madeiras. Ensaio de corte." Instituto Português da Qualidade.

Ornelas, E., Ilharco, T., Guedes, J., Paupério, E., Costa, A. (2006). "A Inspeção como instrumento de decisão. Apresentação de um caso prático num edifício com valor patrimonial." Patorreb 2006, Porto.

Paupério, E, et al. (2001). "Inspeção e diagnóstico de estruturas. Congresso PATRIMÓNIO 2001", Porto.

Pereira, S. (2009). "Avaliação Experimental das Principais propriedades Mecânicas das Peças em Madeira Antiga." Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. FEUP, Porto.

Porteous, J. Kermani, A. (2007). "STRUCTURAL TIMBER DESIGN to Eurocode 5"

Segurado, J. E. S. (1942). "Trabalhos de carpintaria civil." Biblioteca de Instrução Profissional, Livraria Bertrand, Lisboa.

Sutton, J.-J. Orteu, H. Schreier (2009). Image correlation for shape, motion and deformation measurements: basic concepts, theory and applications Springer.

Teixeira, J. J. L. (2004). "Descrição do sistema construtivo da casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX." Contributo para uma história da construção arquitetónica em Portugal, Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. FAUP, Porto.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Terminologia de Madeiras. (1955). “Terminologia de Madeiras, Série B-Secção 1.” Especificações E31-1954, LNEC, Lisboa.

Uriartt, A. (1997). “A madeira como material de construção. Novos Materiais para Construção Civil”. Volume 2, Livros Técnicos e Científicos Editora.

Zoreta, L. C. (1986). “Curso de Mecânica y tecnología de los Edificios Antiguos, Colégio Oficial Arquitectos Madrid (COAM)” Madrid.

Anexo 1: Resultado dos ensaios de compressão axial para os provetes C2 a C10 e Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

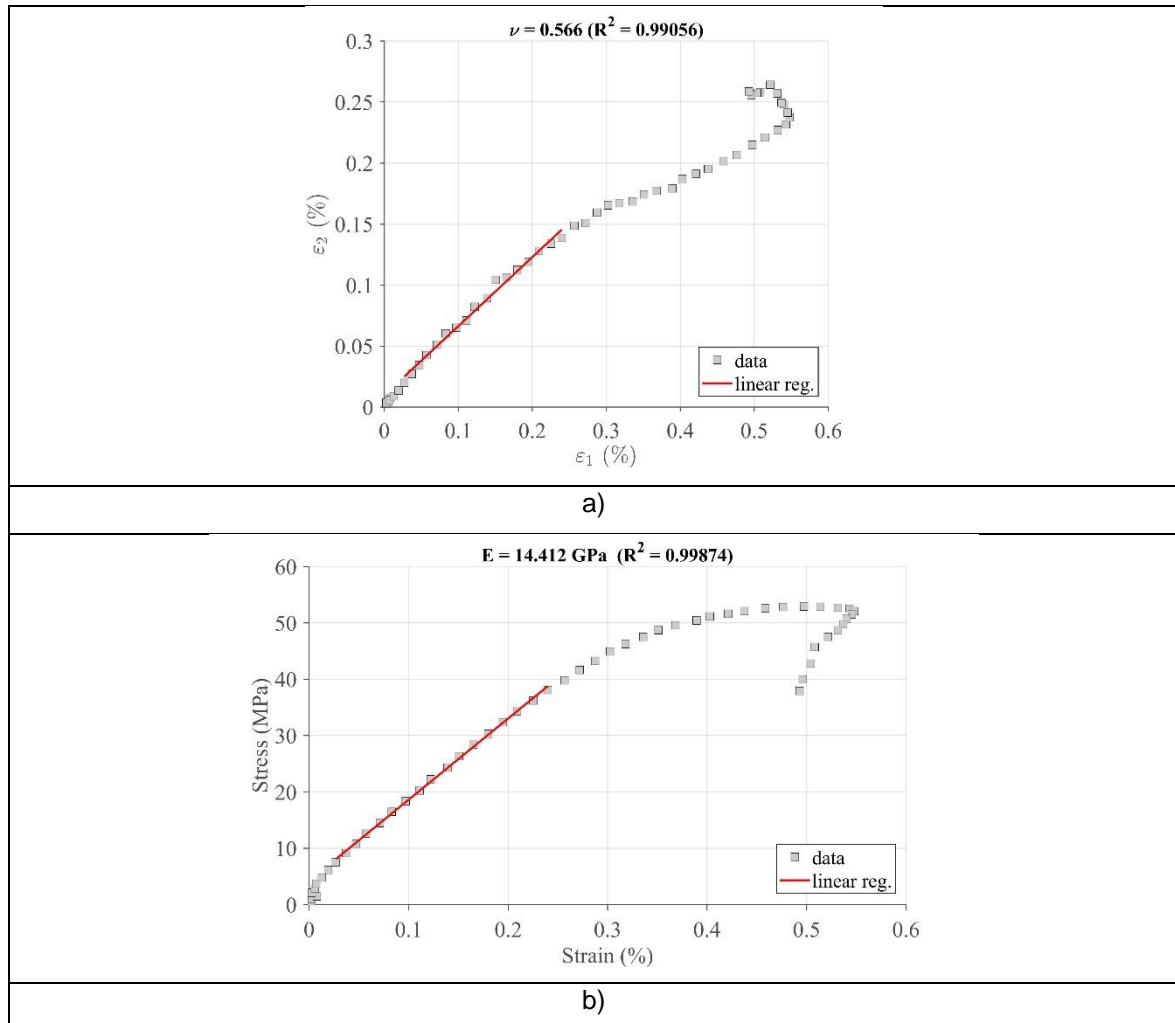


Figura 55 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C2: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

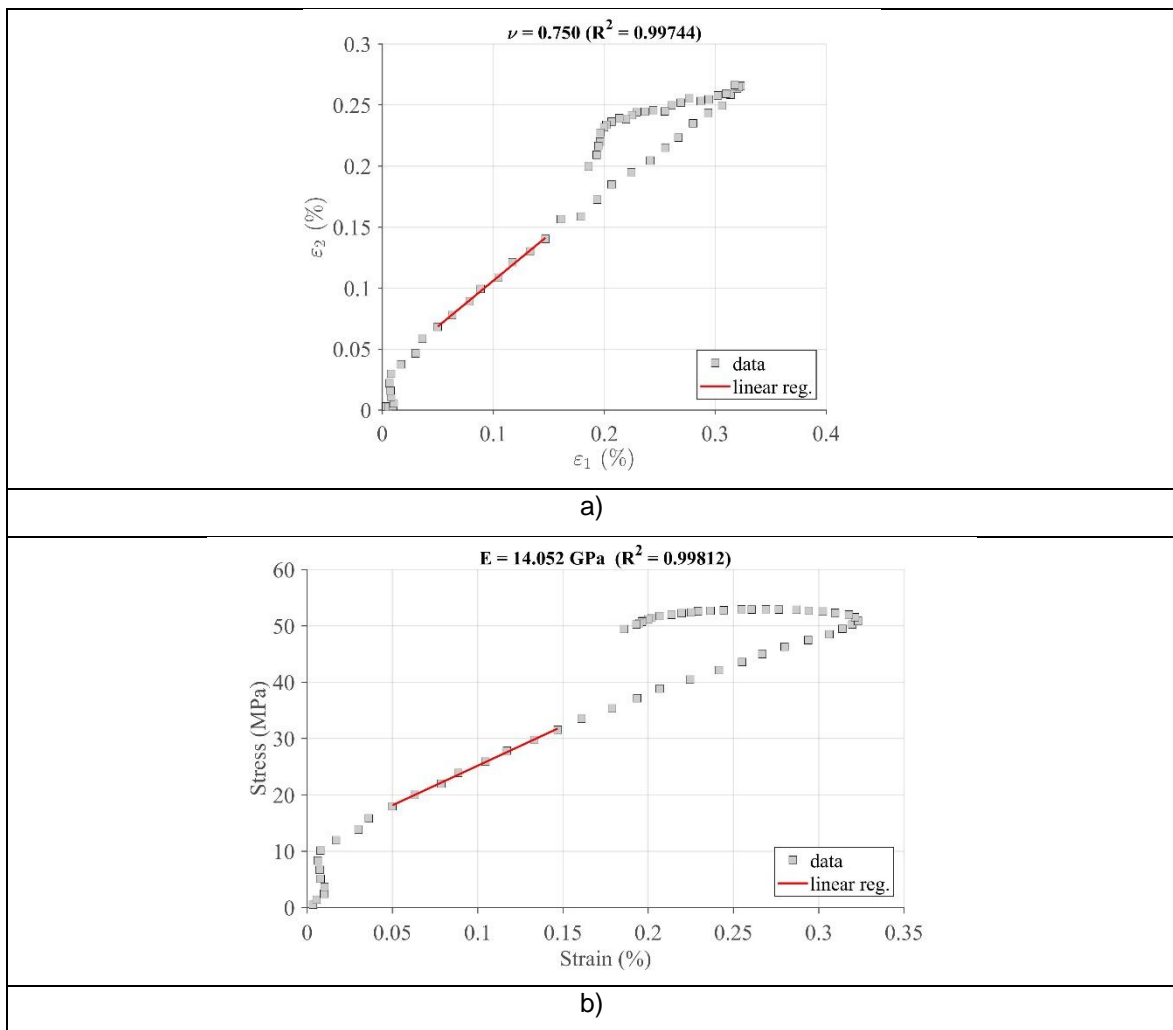
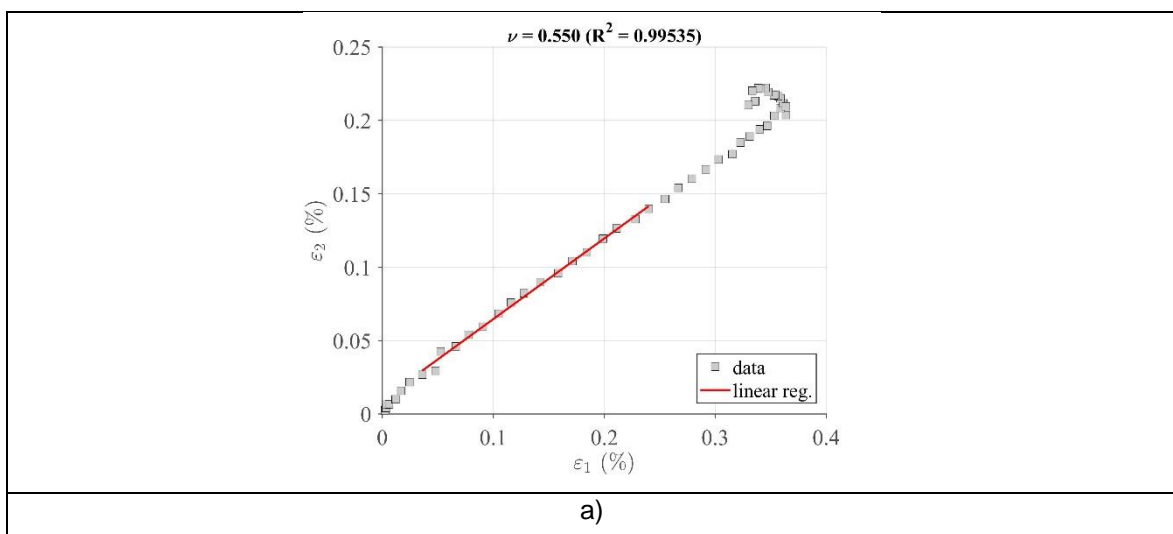


Figura 56 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C3: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.



Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

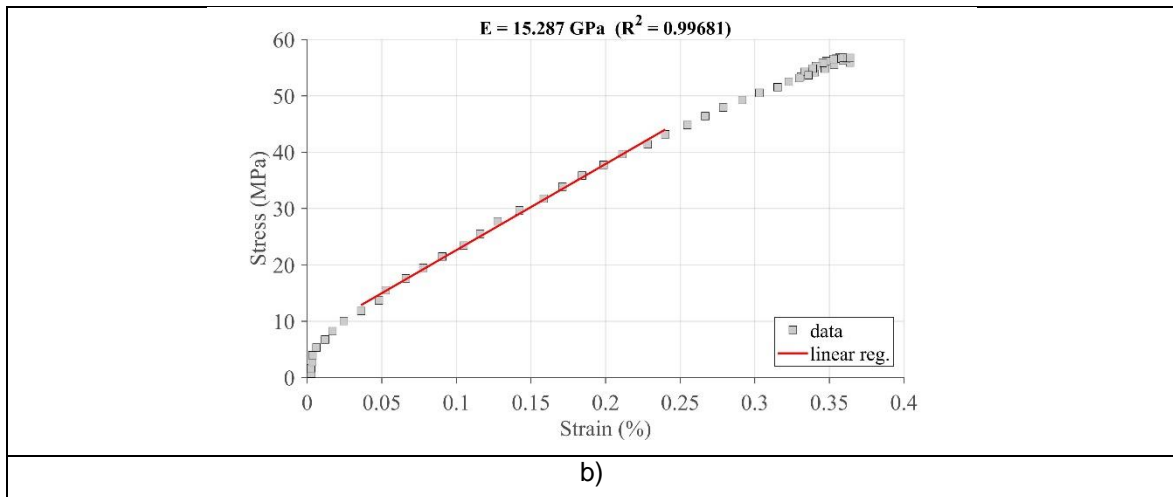


Figura 57 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C4: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

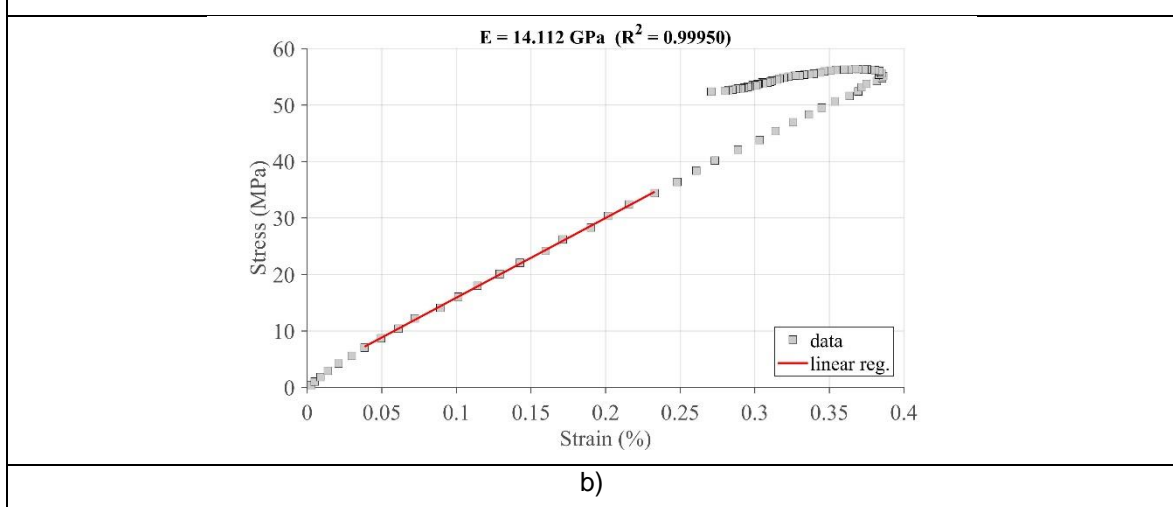
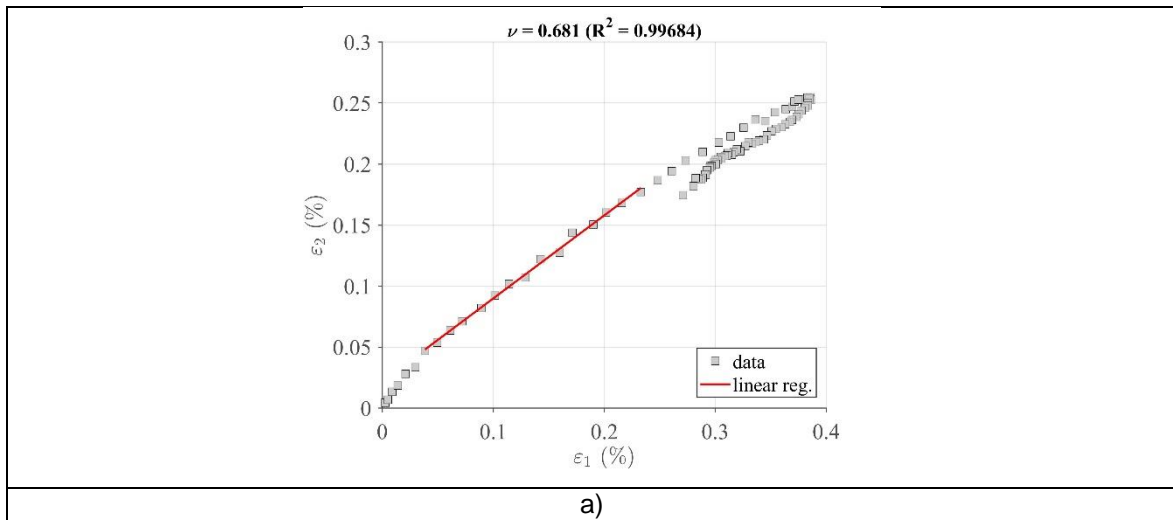
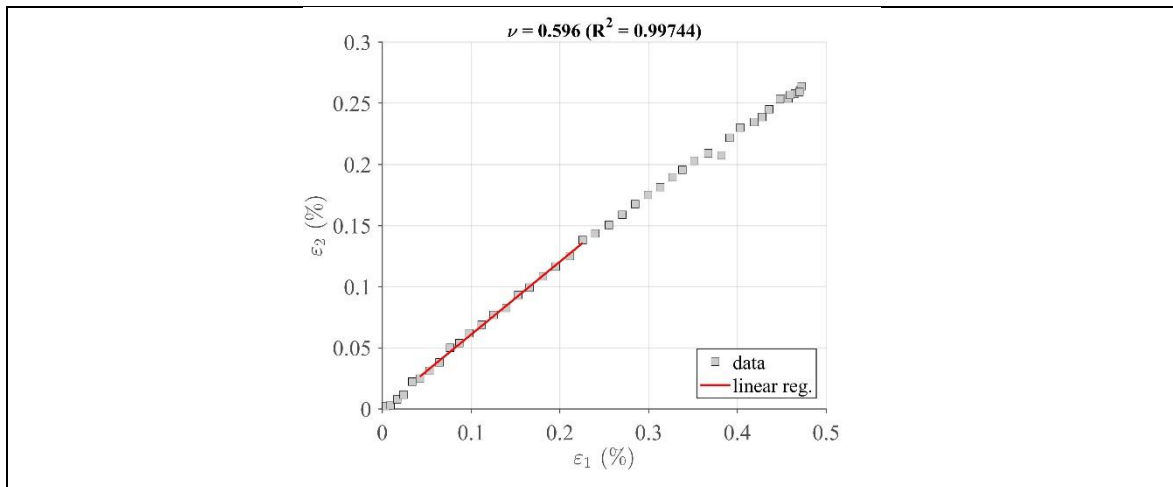
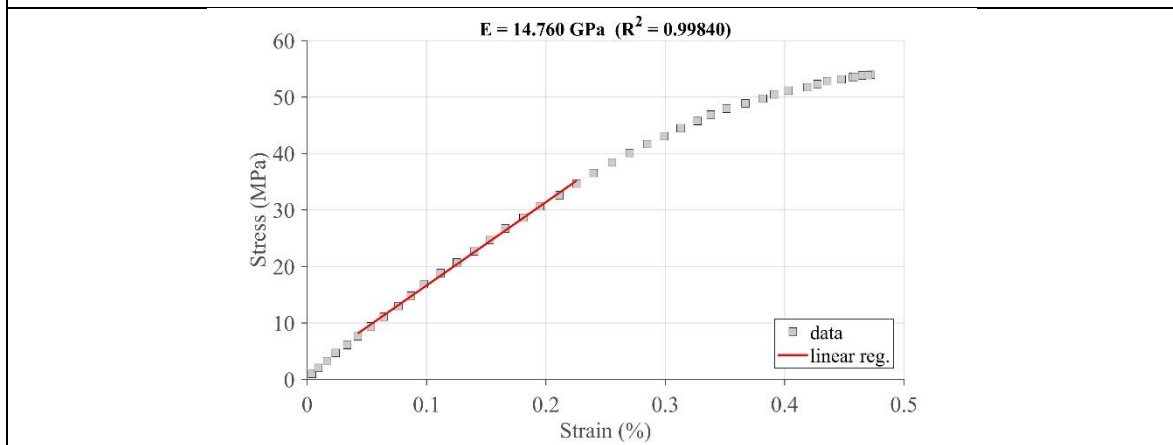


Figura 58 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C5: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

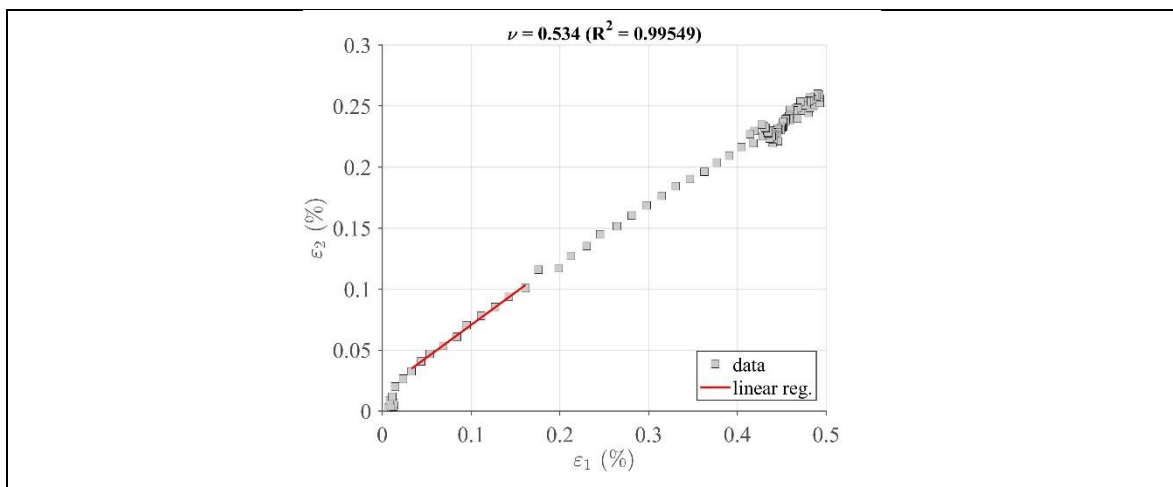


a)



b)

Figura 59 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C6: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.



a)

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

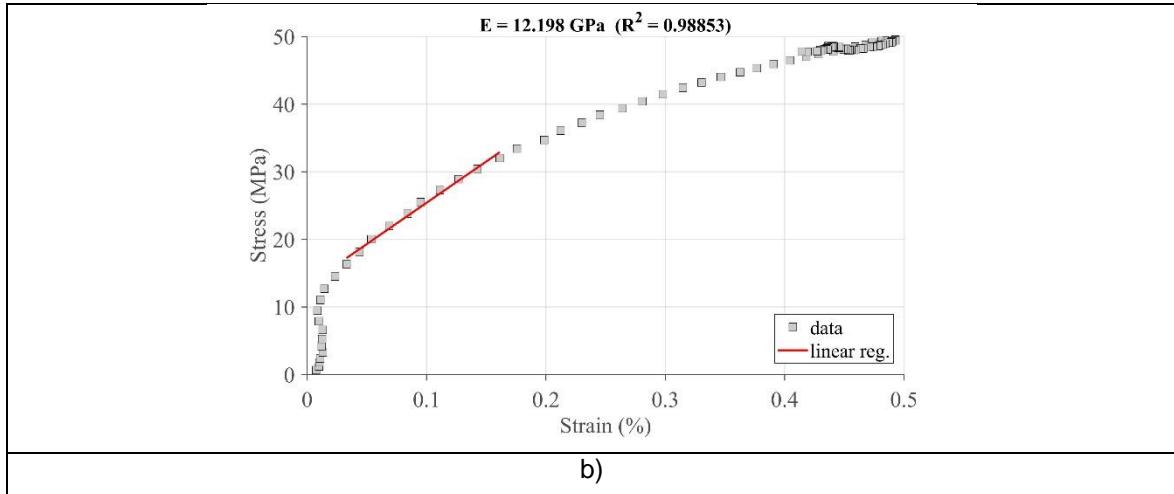


Figura 60 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C7: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

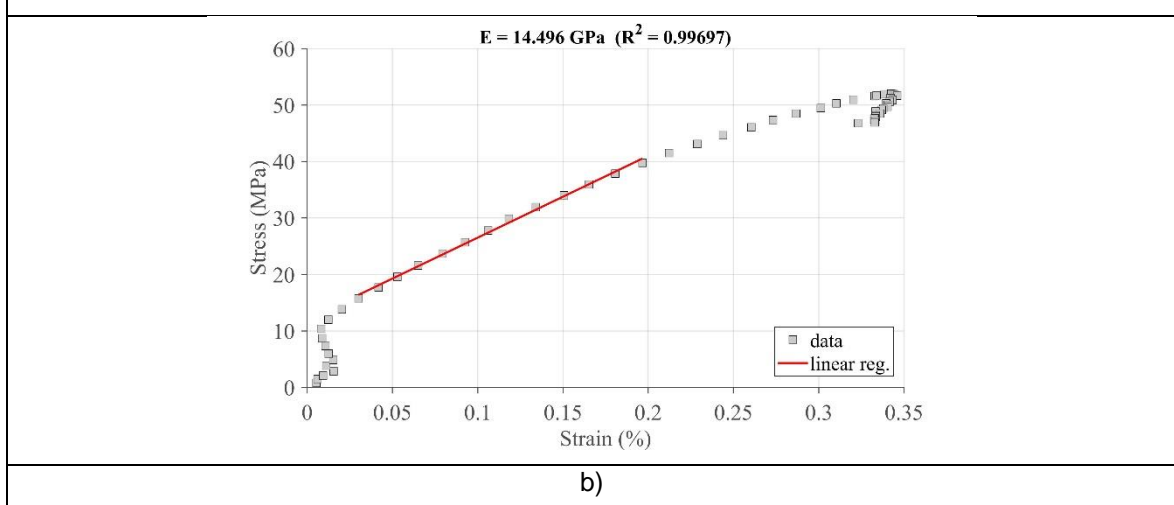
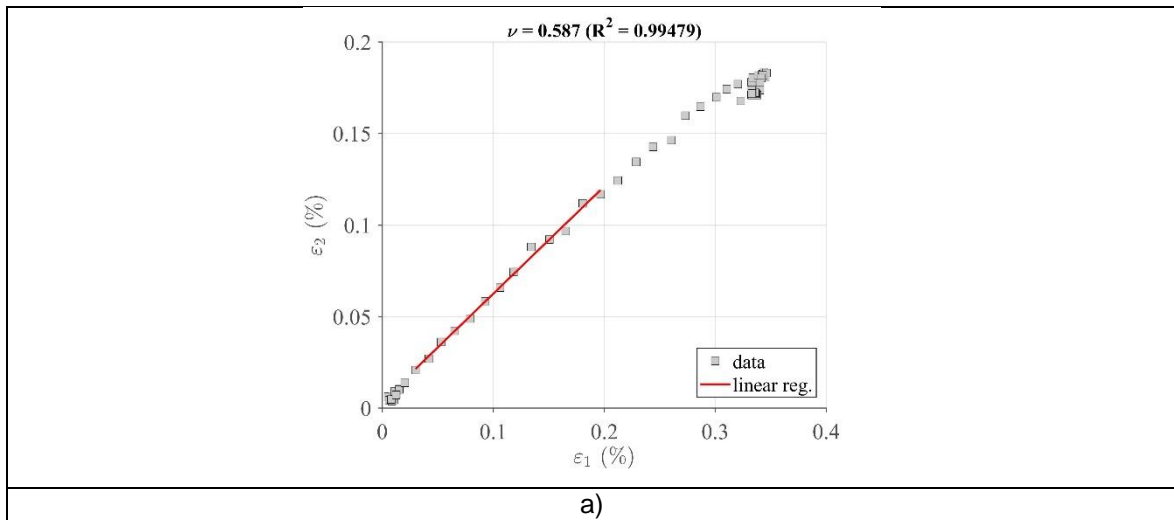


Figura 61 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C8: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

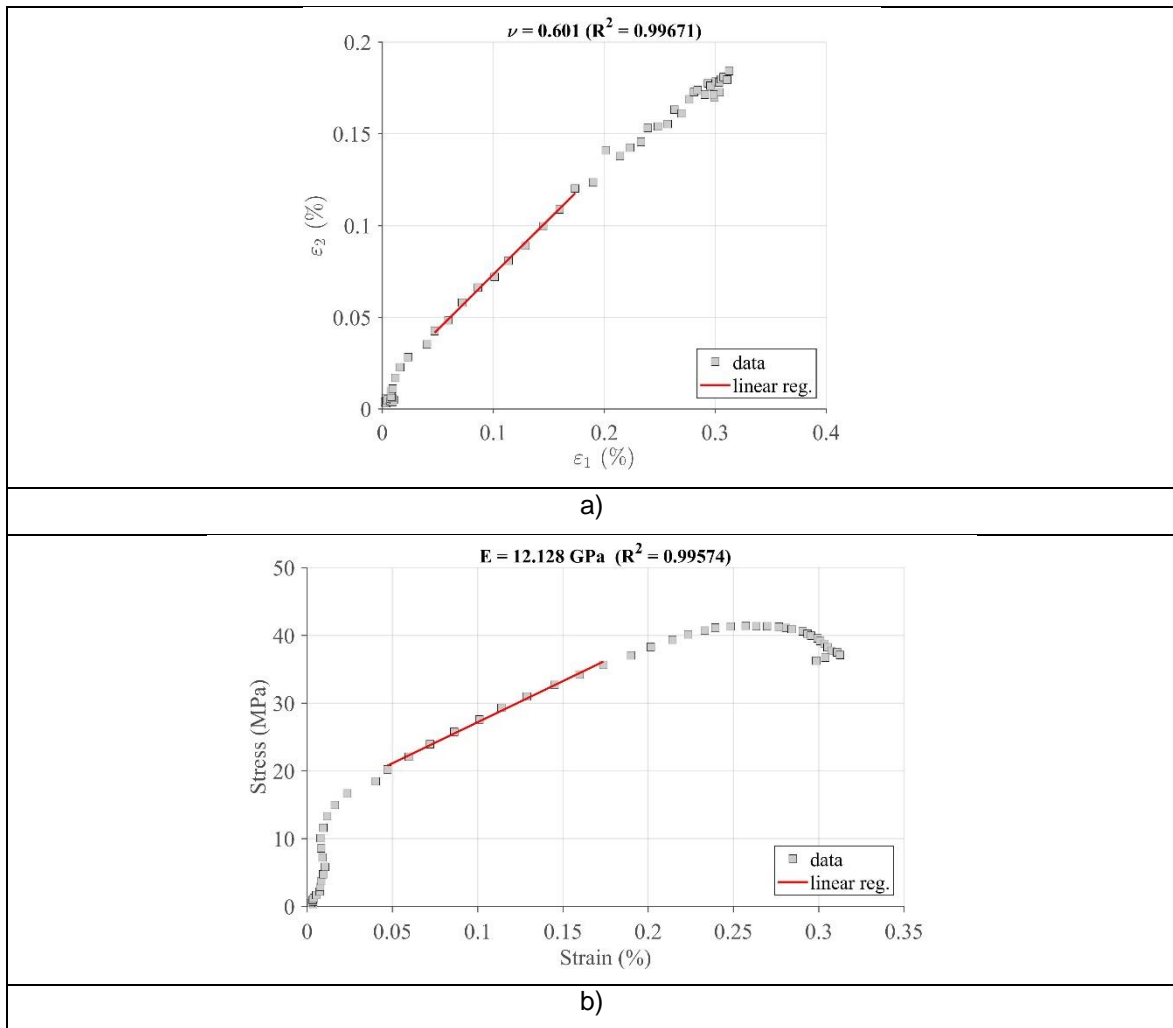
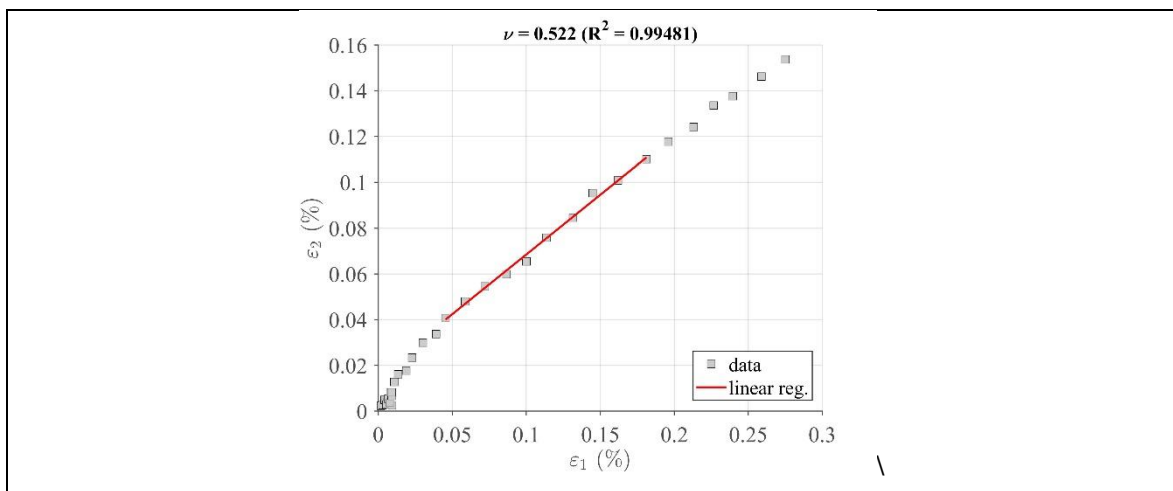


Figura 62 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C9: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.



Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

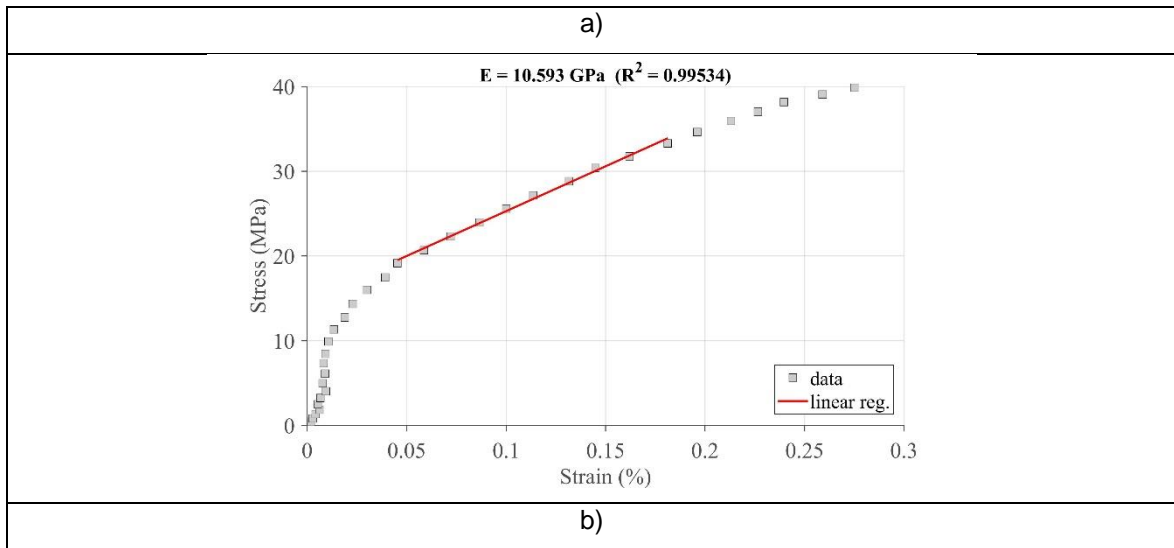


Figura 63 - Resultado dos ensaios de compressão axial para o provete C10: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Anexo 2: Resultado dos ensaios de compressão axial para os provetes T3 a T6 a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

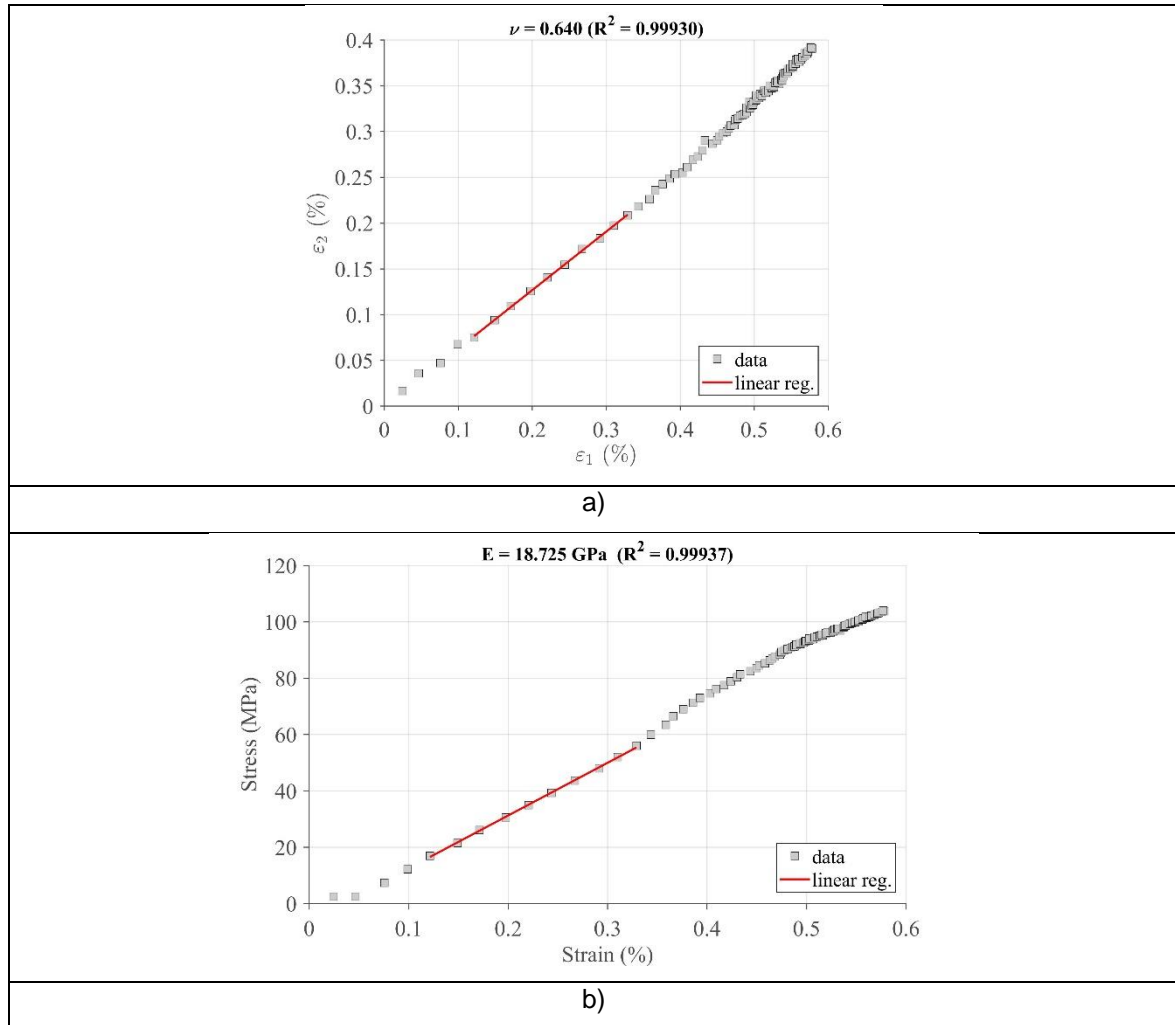


Figura 64 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T3: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

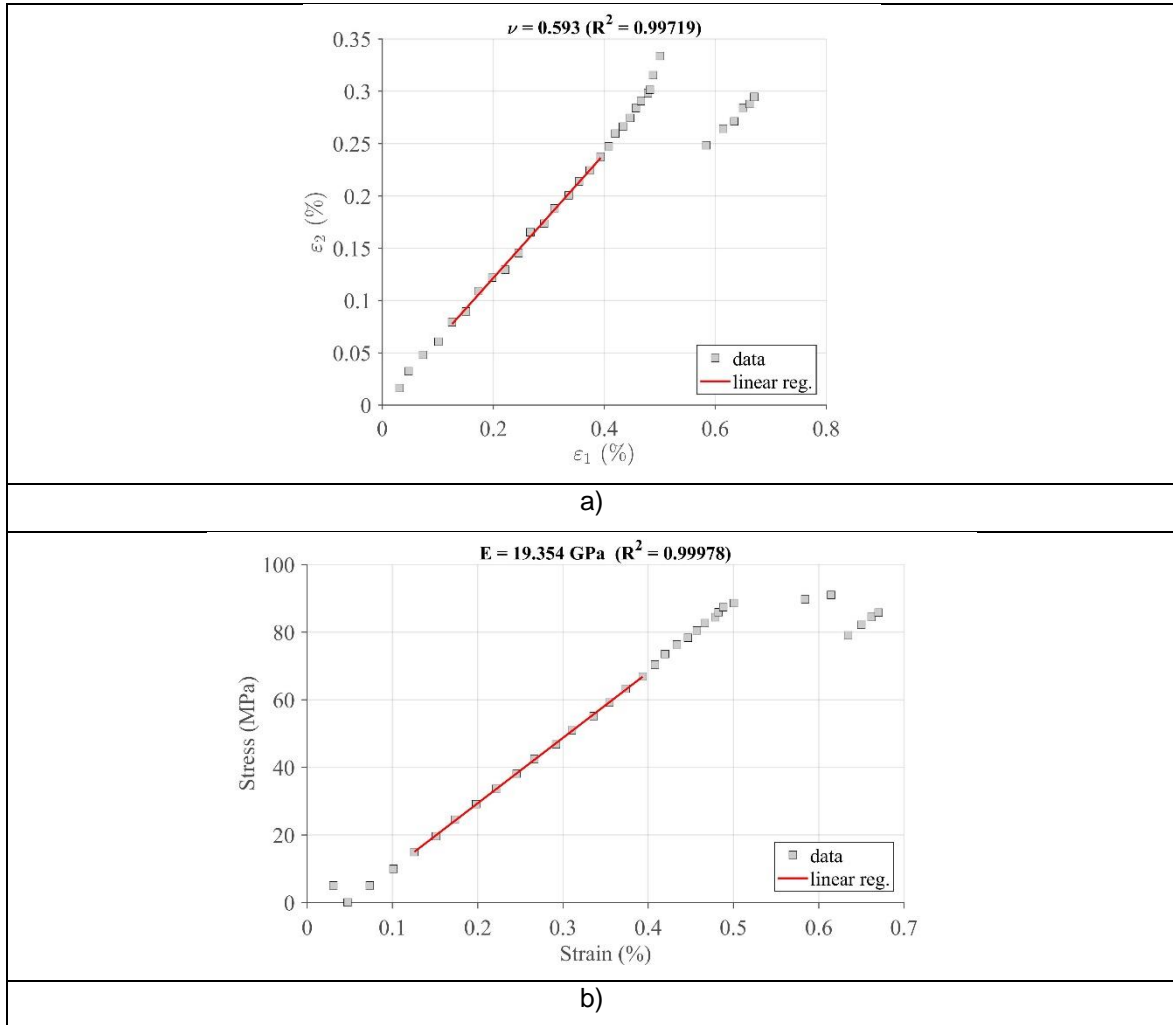
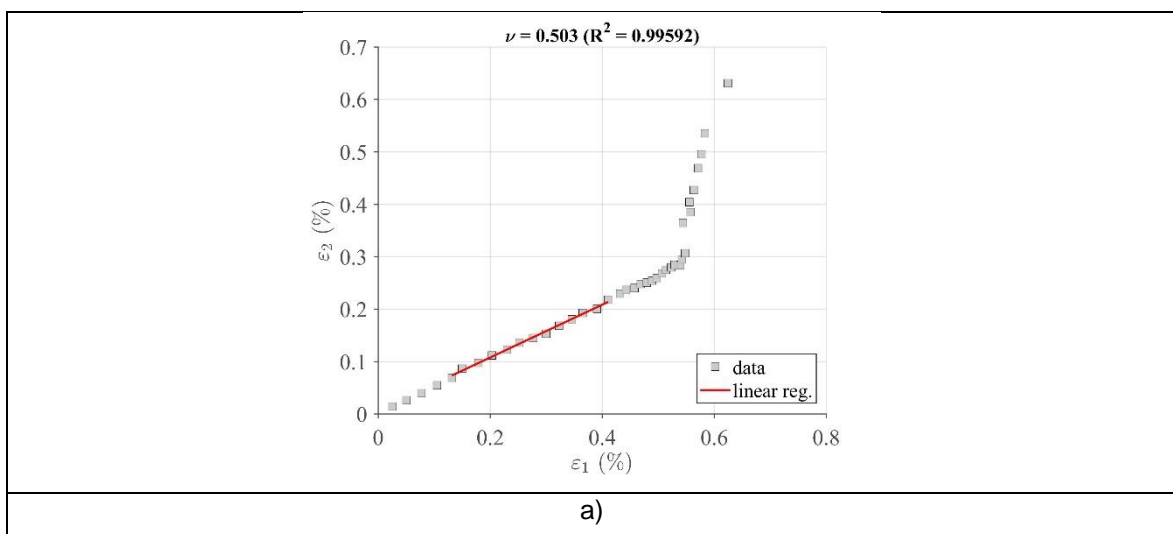


Figura 65 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T4: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.



Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

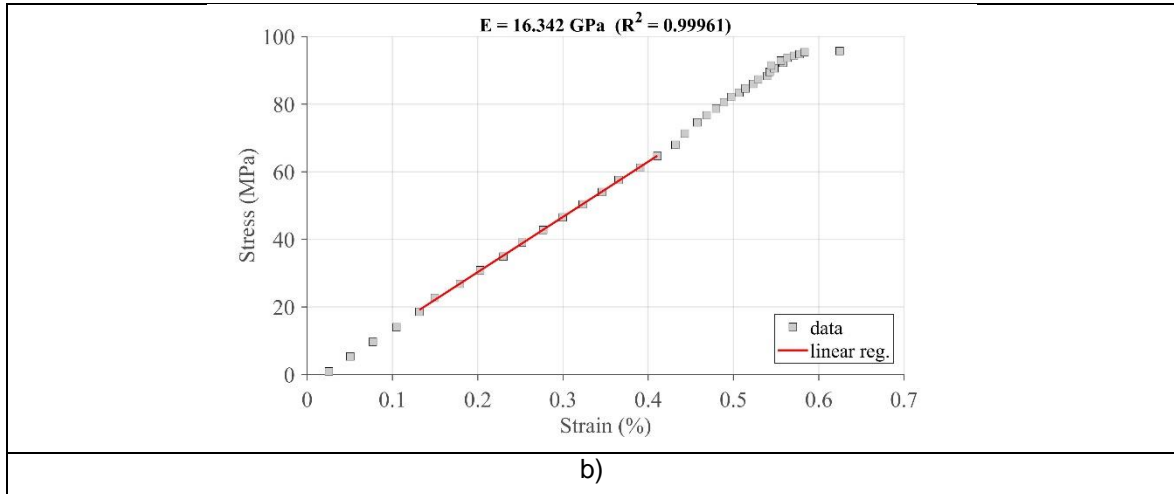


Figura 66 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T5: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

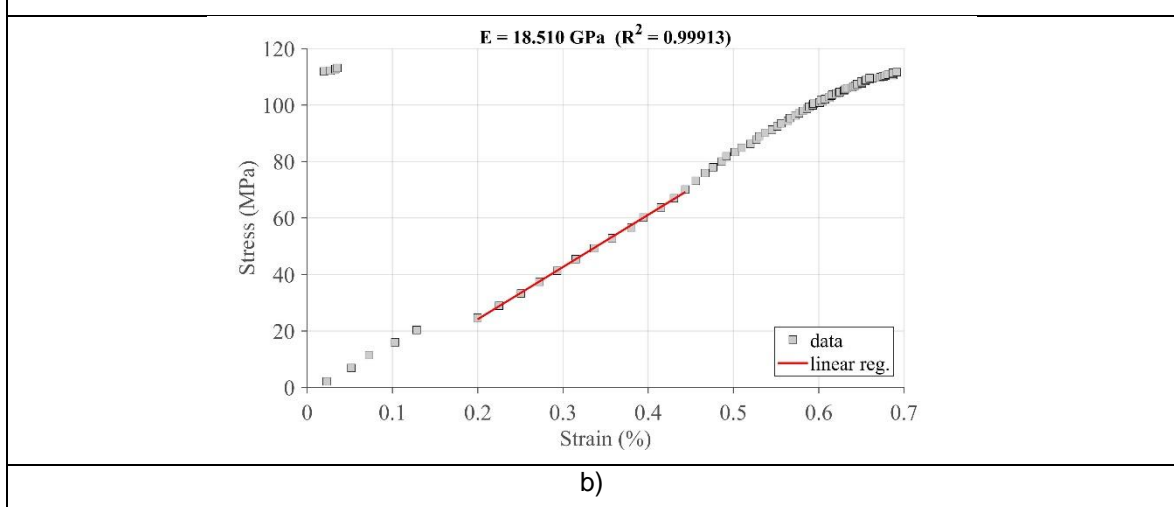
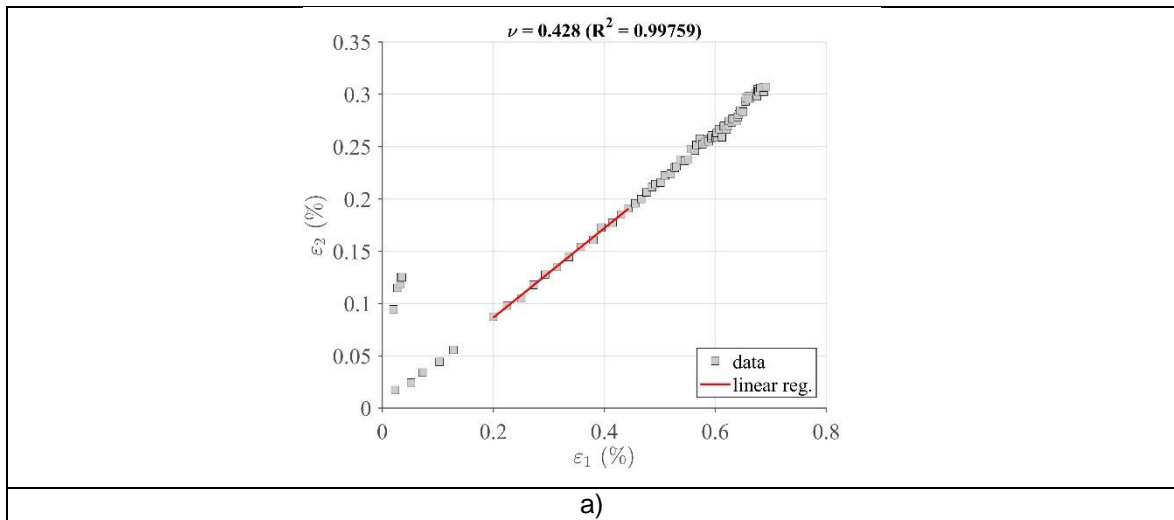


Figura 67 - Resultado dos ensaios de tração axial para o provete T6: a) Estimação do coeficiente de Poisson; b) Estimação do módulo de elasticidade.

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira

Anexo 3: Ficha de inspeção de elementos de madeira.



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

Ficha de inspeção de elementos de madeira

Edifício _____

Elemento _____ Espécie de madeira _____

Piso em estudo _____ Data de inspeção __/__/__ Data de construção __/__/__

Planta do pavimento/ localização do elemento

A large, empty rectangular box with a black border, intended for drawing the floor plan or the location of the element being inspected.

Legenda:

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

Ficha de inspeção de elementos de madeira

Caraterização dos elementos

Dimensões:

Altura (m)	
Largura (m)	
Comprimento (m)	
Diâmetro (m)	

Caraterização das condições dos elementos

Condições de Apoio:

Extremo 1	
Simpres	
Encastrado	

Extremo 2	
Simpres	
Encastrado	

Estado de conservação:

Caraterização dos materiais utilizados como revestimento

Material:

Descrição técnica aplicada:

Estado de conservação:

Inspeção e Diagnóstico de Pavimentos de Madeira



Instituto Politécnico
de Viana do Castelo

Ficha de inspeção de elementos de madeira

Defeitos ou degradação do elemento S / N

Proveniente (s) da árvore (s) S / N

- | | | |
|------------------|-------|------------------|
| • Nós | S / N | Quantidade _____ |
| • Fendas | S / N | Quantidade _____ |
| • Desvio do fio | S / N | Quantidade _____ |
| • Outro(s) _____ | | Quantidade _____ |

Conversão S / N

Tratamento (s) S / N

Armazenamento S / N

Degradação S / N

- | | |
|------------------------------------|-------|
| • Fungos xilófagos (Apodrecimento) | S / N |
| • Insetos xilófagos (ex: Caruncho) | S / N |
| • Insetos sociais (ex: Térmitas) | S / N |
| • Agentes Atmosféricos | S / N |
| • Humidade | S / N |
| • Outro(s) _____ | |

Caso SIM, descreva-o(s)

Sempre que possível anexar fotos